

Schmidt, Karl Peter

Diss. Mainz

1986

Aus dem Institut für Arbeits- und Sozialmedizin
der
Johannes Gutenberg-Universität Mainz

VERHALTEN VON HAUTTEMPERATUR UND
FINGERPULSAMPLITUDE UNTER STOSSHALTIGER
SCHWINGUNGSBELASTUNG DES HAND-ARM-SYSTEMS

Inauguraldissertation
zur Erlangung des Doktorgrades der Medizin
der Johannes Gutenberg-Universität Mainz
dem Fachbereich Medizin vorgelegt

von Karl Peter Schmidt
aus Worms

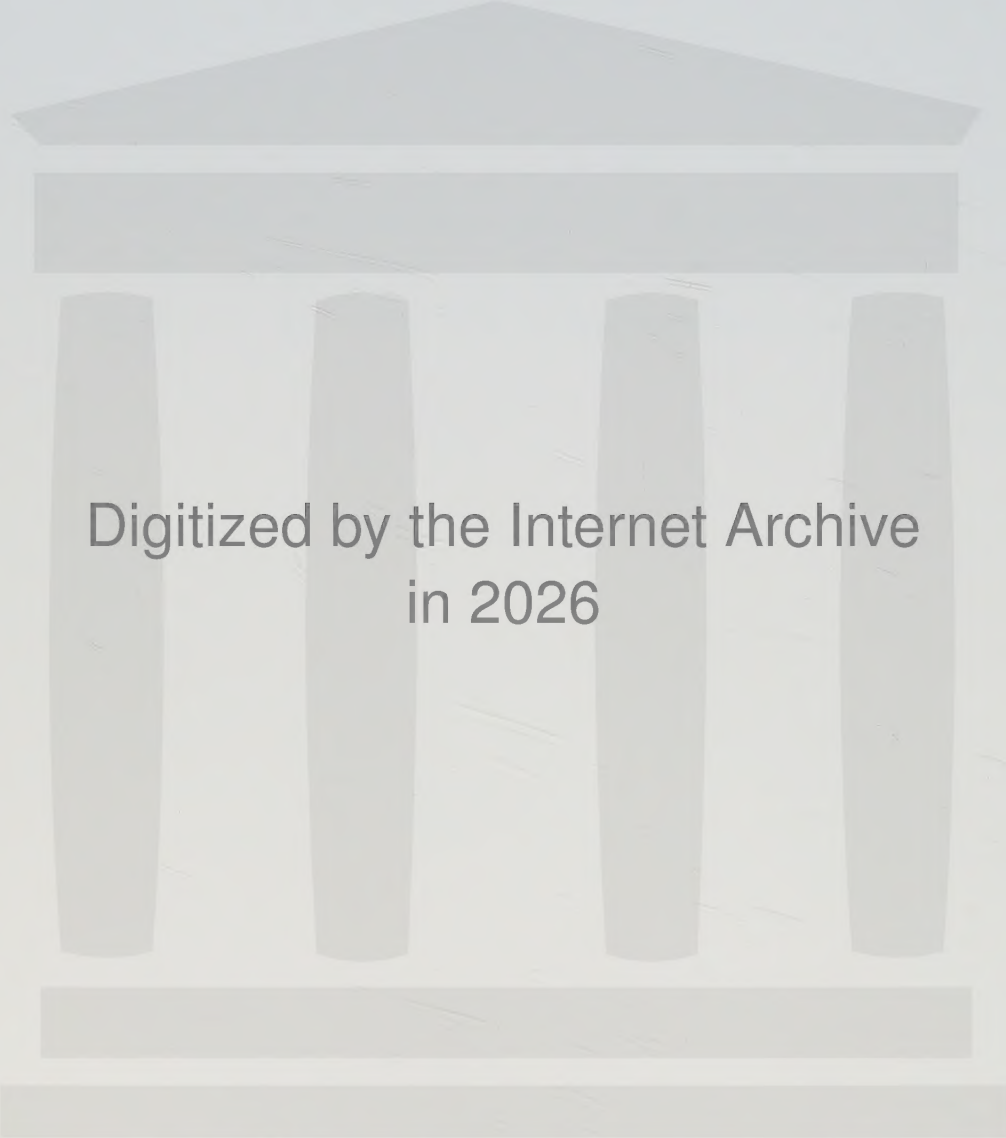
Mainz 1985

Dekan: Professor Dr. J. Michaelis

1. Gutachter: Professor Dr. H. Dupuis

2. Gutachter: Professor Dr. H. Konietzko

Tag der Promotion: 17. Dezember 1986



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41555001_0027

Die vorliegende Arbeit wurde im Schwingungslabor der Arbeitsgruppe Ergonomie am Institut für Arbeits- und Sozialmedizin in Bad Kreuznach ausgeführt.

Sie ist Teil eines Forschungsprojekts des Bundesministeriums für Forschung und Technologie und des Hauptverbandes der gewerblichen Berufsgenossenschaften e.V. in Bonn.

Ich möchte mich bei allen bedanken, die mir beim Zustandekommen dieser Arbeit behilflich waren.

Mein besonderer Dank gilt:

Prof. Dr. H. Dupuis, der mir dieses Thema stellte und durch seine Hinweise und die angenehmen Arbeitsbedingungen wesentlich zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen hat,

Prof. Dr. H. Konietzko, der die Aufgabe des Korreferenten übernommen hat,

Dr. N. Schäfer für seine ständige Diskussionsbereitschaft und die gemeinsam mit

Dr. E. Hartung durchgeführte Überprüfung der Schwingungssimulation,

Frau I. Petri, die bei der Suche nach Versuchspersonen behilflich war,

Herrn K. Adler, der alle Bilder und Zeichnungen anfertigte,

Frau I. Holler für die geduldige und gewissenhafte Ausführung der Schreibarbeiten.

<u>Inhaltsverzeichnis</u>	<u>Seite</u>
1. Einführung	4
2. Aufgabenstellung	6
3. Theoretischer Teil	8
3.1. Auf den Menschen einwirkende Belastungsarten, die sich auf die periphere Durchblutung auswirken	8
3.1.1. Einfluß mechanischer Schwingungen	8
3.1.1.1. Akute Wirkungen	8
3.1.1.2. Chronische Wirkungen	10
3.1.1.3. Schwingungsbewertung und Gesundheitsrisiko des vibrationsbedingten vasospastischen Syndroms VVS	17
3.1.2. Einfluß akustischer Schwingungen	20
3.1.3. Einfluß klimatischer Faktoren	22
3.1.4. Einfluß statischer Haltearbeit	24
3.2. Mitwirkung individueller Faktoren	26
3.3. Physiologie der peripheren Durchblutungsregulation	28
3.3.1. Mechanismen der Durchblutungsregulation der Haut	28
3.3.2. Äußere Einflüsse auf die Hautdurchblutung	30
3.4. Weitere Auswirkungen von Schwingungsbelastungen auf das Hand-Arm-System	32
3.4.1. Akute Wirkungen	32
3.4.1.1. Einflüsse auf das biomechanische Schwingungsverhalten	32
3.4.1.2. Beeinflussung der Muskelaktivität	33
3.4.1.3. Einflüsse auf die subjektive Wahrnehmung	34
3.4.2. Chronische Wirkungen	35
3.4.2.1. Einflüsse auf das Skelettsystem	35
3.4.2.2. Einflüsse auf das Nervensystem	37

	<u>Seite</u>
4. Experimentelle Untersuchungen	39
4.1. Schwingungssimulation	39
4.1.1. Auswahl von typischen stoßhaltigen Schwingungsverläufen bei handgeführten Arbeitsgeräten zur Erstellung von Simulationsprogrammen	39
4.1.2. Schwingungssimulation handgeführter Arbeitsgeräte mit Hilfe eines elektromagnetischen Simulators	42
4.1.3. Überprüfung der Schwingungssimulation (IST-Werte) mit den Feldversuchen (SOLL-Werte)	44
4.2. Methodik	53
4.2.1. Versuchsaufbau	53
4.2.2. Meßverfahren zur Erfassung der Hauttemperatur und der Fingerpulsamplitude	57
4.2.3. Versuchspersonen	59
4.2.4. Versuchsdurchführung	59
4.2.5. Auswerteverfahren	62
4.3. Versuchsreihen	62
4.3.1. Vergleich von Geräteschwingungen unterschiedlicher Stoßhaltigkeit mit Sinusschwingungen der jeweiligen Arbeitsfrequenz (I)	64
4.3.2. Vergleich von Geräteschwingungen unterschiedlicher Stoßhaltigkeit (II)	64
4.3.3. Vergleich von Geräteschwingungen bei zusätzlicher Lärmbelastung (III)	64
4.4. Sonderversuchsreihen	65
4.4.1. Einfluß statischer Haltearbeit (I)	65
4.4.2. Arbeit mit einem Elektro-Bohrhammer unter praxisnahen Arbeitsbedingungen (II)	66
4.5. Ergebnisse	67

4.5.1.	Verlauf der Fingerkuppentemperatur FKT unter statischer Haltearbeit und Bohr- hammerschwingungen bei 10 Versuchs- personen	67
4.5.2.	Versuchsreihe I	68
4.5.3.	Versuchsreihe II	73
4.5.4.	Versuchsreihe III	76
4.5.5.	Sonderversuchsreihe I	79
4.5.6.	Sonderversuchsreihe II	80
5.	Diskussion	82
6.	Zusammenfassung	86
7.	Literaturverzeichnis	88

1. Einführung

Mechanische Schwingungen stellen neben Umgebungsfaktoren wie Lärm, Staub und toxischen Stoffen eine arbeitsmedizinisch bedeutsame Belastung des Menschen dar. Hauptsächlich in Betrieben der metallverarbeitenden Industrie, dem Baugewerbe, dem Berg- und Schiffsbau und im Bereich der Forstwirtschaft gibt es eine Vielzahl von Arbeitsplätzen, an denen Maschinen, die Erschütterungen oder Vibrationen erzeugen, eingesetzt werden.

Erhebungen von SCHWARZLOSE (1981) zeigen, daß in der Bundesrepublik Deutschland mit etwa 4,4 Millionen Erwerbstätigen - dies entspricht ungefähr 18 % aller Beschäftigten - gerechnet werden muß, die regelmäßig Schwingungen über die Hände beim Umgang mit vibrierenden Geräten ausgesetzt sind. Aus dieser Personengruppe ist ein Anteil von etwa 0,5 Millionen täglich mehr als 2 Stunden an solchen Maschinen beschäftigt.

Bei langjähriger, täglicher Arbeit mit vibrierenden Geräten können insbesondere degenerative Gelenkerkrankungen im Hand-Arm-Bereich wie eine Arthrosis deformans oder eine Osteochondrosis dissecans auftreten, REHM (1983). Weiterhin werden anfallsartige Störungen der peripheren Fingerdurchblutung im Sinne eines sekundären Raynaud Syndroms beschrieben. Die beiden recht unterschiedlichen Gruppen von Krankheitsbildern sind unter den Nummern 2103 bzw. 2104 in die Berufskrankheitenverordnung (BeKV) aufgenommen worden.

Die geschilderten Durchblutungsstörungen äußern sich in anfallsartigem, teilweise schmerzhaftem Weißwerden einzelner oder mehrerer Finger, verbunden mit neurologischen Störungen wie Taubheitsgefühl und motorischer Schwäche.

Bereits Anfang dieses Jahrhunderts wurden solche Symptome beobachtet, LORIGA (1911). In Deutschland wurden diese Beschwerden zuerst von Arbeitern, die in der Schuhindustrie an hochfrequenten, sogenannten Anklopfmaschinen beschäftigt waren, geschildert, LAARMANN (1977).

HAMILTON (1918) faßte das Beschwerdebild unter dem Begriff "Weißfingerkrankheit" zusammen. In Anlehnung an ein ähnliches Krankheitsbild, das 1862 erstmals von dem französischen Arzt Maurice Raynaud bei meist jungen Frauen häufig unter zusätzlicher Kältebelastung beschrieben wurde, wählte AGATE (1949) die Bezeichnung "Raynaud's Phenomenon of Occupational Origin". KLOSTERKÖTTER (1975) prägte den Begriff vibrationsbedingtes vasospastisches Syndrom. GEMNE (1982) wählte die Bezeichnung "acquired vasospastic disease". Er weist besonders auf die multifaktoriellen Ursachen der peripheren Durchblutungsstörungen bei schwingungsexponierten Arbeitern hin. Hierzu zählt er Umweltfaktoren, ergonomische und individuelle Einflüsse.

2. Aufgabenstellung

Es ist schon einige Zeit bekannt, daß mechanische Schwingungsbelastung akut zu Veränderungen der peripheren Fingerdurchblutung führt, DUPUIS, WEICHENRIEDER (1977). Die Beurteilung der von handgeführten Arbeitsmaschinen ausgehenden Schwingungen setzt hingegen ein technisches Prüf- sowie ein arbeitsmedizinisches Beurteilungsverfahren voraus. Für Geräte, die zu einer stoßhaltigen¹⁾ Schwingungsbelastung des Hand-Arm-Systems führen, gibt es solche Verfahren bisher nicht, da über die Wirkung stoßhaltiger Schwingungsvorgänge noch keine ausreichenden Kenntnisse vorhanden sind.

Untersuchungen zur Wirkung stoßhaltiger Schwingungen auf biomechanisches Schwingungsverhalten und Muskelreaktion des Hand-Arm-Systems und Wahrnehmung wurden in jüngster Zeit von SCHIRMER (1985) durchgeführt.

Diese Arbeit geht der Frage nach, ob stoßhaltige Geräteschwingungen, wie sie in der Praxis häufig vorkommen, einen stärkeren Einfluß auf die periphere Durchblutung haben, d.h. ob sie einer strengeren arbeitsmedizinischen Beurteilung nach VDI 2057 bedürfen als nicht stoßhaltige Schwingungen.

Da die periphere Fingerdurchblutung eine vielfach beeinflussbare Größe darstellt, waren standardisierte Rahmenbedingungen, wie sie nur innerhalb eines Laboratoriums gegeben sind, erforderlich. Mit Hilfe eines Schwingungssimulators konnten im Laboratorium Versuchspersonen sowohl praxisgerechten Geräteschwingungen (Schleifmaschine, Motorkettensäge, Bohrhammer, Aufbruchhammer, Niethammer

¹⁾ Für den Begriff "Stoßhaltigkeit" gibt es keine physikalische Definition. Im Zusammenhang mit dieser Untersuchung werden unter "stoßhaltigen Schwingungen" stochastische Abläufe mit herausragenden Amplituden (Impulse) in regelmäßiger oder regelloser Folge verstanden.

und Nagler) als auch Sinusschwingungen ausgesetzt werden. Unter dem Gesichtspunkt der akuten Beeinflussung der peripheren Fingerdurchblutung, die indirekt mit Hilfe der Fingerkuppen-Thermometrie und der Fingerplethysmographie ermittelt wurde, stellten sich folgende Fragen:

1. Wie wirken sich Geräteschwingungen unterschiedlicher Stoßhaltigkeit im Vergleich zu Sinusschwingungen ihrer jeweiligen Arbeitsfrequenz auf Fingerkuppentemperatur FKT und Fingerpulsamplitude FPA aus?
2. Welchen Einfluß zeigen Schwingungen unterschiedlicher Stoßhaltigkeit?
3. Wie wirkt sich zusätzliche Lärmbelastung aus?
4. Welche FKT-Veränderungen ergeben sich an den verschiedenen Fingern der belasteten bzw. der unbelasteten Hand?

Zwei Sonderversuchsreihen sollten unter den folgenden Fragestellungen durchgeführt werden:

1. Welchen Einfluß hat die Greifkraft auf die Fingerkuppentemperatur FKT der Finger der rechten Hand?
2. Wie verhalten sich die Fingerkuppentemperaturwerte bei der Arbeit mit einem Elektro-Bohrhammer unter praxisnahen Arbeitsbedingungen?

3. Theoretischer Teil

3.1. Auf den Menschen einwirkende Belastungsarten, die sich auf die periphere Durchblutung auswirken

3.1.1. Einfluß mechanischer Schwingungen

3.1.1.1. Akute Wirkungen

WEICHENRIEDER (1977) führte unter Verwendung eines Schwingungssimulators Versuche zum akuten Einfluß von Sinus-Schwingungen auf die periphere Durchblutung durch. Er konnte zeigen, daß die Schwingungsfrequenz keinen deutlichen Einfluß auf die Höhe der peripheren Minderdurchblutung hat. Hauttemperatur des kleinen Fingers der schwingungsexponierten Hand sowie die Fingerpulsamplitude des Zeigefingers der linken unbelasteten Hand änderten sich frequenzabhängig nicht signifikant. Da Frequenz und Beschleunigung so gewählt waren, daß sie gleicher biomechanischer Beanspruchung und gleicher subjektiver Wahrnehmung und somit gleichem K-Wert (VDI 2057) bzw. a_{wh} -Wert (ISO 5349) entsprachen, konnte er den von VDI bzw. ISO festgelegten frequenzabhängigen Kurvenverlauf gleich starker Beanspruchung weiter physiologisch untermauern, DUPUIS, WEICHENRIEDER (1977). Bei Steigerung der Schwingbeschleunigung um das Vierfache zeigten sich hingegen deutliche Veränderungen im Sinne einer unterschiedlichen Beanspruchung, die sich jedoch ebenfalls nicht statistisch absichern ließen. Die Fingerpulsamplitude zeigte kurz nach Schwingungsbeginn regelmäßig einen Abfall, was auf eine systemische Beanspruchung des Organismus hinweist, KLIMKOVA-DEUTSCHOVA (1966).

ESS (1984) untersuchte die hemmenden Einflüsse von Schwingungen, statischer Haltearbeit und Lärm auf die periphere Hautdurchblutung hinsichtlich einer additiven

oder potenzierenden Wirkung. Er führte hierzu unter Laborbedingungen an einem Simulator Experimente mit Versuchspersonen durch, die beruflich keinen Schwingungen ausgesetzt waren. Unter Schwingungsbelastung kombiniert mit statischer Haltearbeit konnte er einen Abfall der Hauttemperatur am kleinen Finger der schwingungsexponierten Hand beobachten, die am Ende der Belastungsperiode signifikant unter dem Ruheausgangswert lag. Die Mitreaktion der Fingerpulsamplitude am Zeigefinger der linken, unbelasteten Hand ließ sich statistisch nicht absichern.

Zur Bewertung akuter Schwingungseinflüsse auf den Organismus stellten DUPUIS et al. (1982) fest, daß die Hauttemperatur der exponierten Hand im Vergleich zur Wärmeleitfähigkeit der Haut und der Fingerpulsamplitude als das wichtigste Kriterium für die akuten Durchblutungsstörungen angesehen werden kann.

3.1.1.2. Chronische Wirkungen

Nach langjähriger beruflicher Schwingungsexposition kann es zu anfallsartigen Durchblutungsstörungen der Hände im Sinne eines Vasospasmus kommen. Während des Anfalls, der Minuten oder auch längere Zeit andauern kann, kommt es zu sensomotorischen Störungen, die manuelles Arbeiten erschweren. Insbesondere die Feinmotorik wird stark beeinträchtigt. Ischämiebedingte Schmerzen werden ebenfalls angegeben, DUPUIS (1982). LIDSTRÖM (1974) beschrieb den Ablauf einer vasospastischen Attacke. Sie beginnt nach ihren Beobachtungen mit einer ischämischen Phase begleitet von einer herabgesetzten Empfindung in den betroffenen Fingern und geht mit Nachlassen des Krampfes in eine Phase der reaktiven Hyperämie über. LAARMANN (1977) betont den stadienhaften Ablauf eines Anfalls und spricht deshalb im Hinblick auf die Hautverfärbungen von einem sogenannten Weiß-Blau-Rot-Phänomen. Die geschilderten Symptome treten zunächst nur während der Arbeit meist unter zusätzlichem Kälteeinfluß auf. In einem späteren Stadium werden die Beschwerden auch außerhalb der Arbeitszeit insbesondere nachts und auf dem Weg zur Arbeit angegeben, PYYKKÖ (1974), TURTIAINEN (1974).

Das Krankheitsbild ist in der Arbeitsmedizin schon längere Zeit bekannt. LORIGA (1911) und COTTINGHAM (1918) beobachteten bereits Erkrankungen dieser Art. HAMILTON (1930) fand bei Steinmetzen, daß die Beschwerden gehäuft unter zusätzlicher statischer Haltearbeit bei starkem Kälteeinfluß auftraten. Periphere Durchblutungsstörungen in Verbindung mit peripheren Nervenfunktionsstörungen wurden in der Bundesrepublik Deutschland in jüngerer Zeit bei Motorsägeführern beschrieben, JANCIK (1973), KLOSTER-KÖTTER (1975), WOELKE-SEIDL (1982). Insbesondere jedoch im Ausland, vor allem in den nordischen Ländern, in Japan, Großbritannien, Kanada und in den Ostblockländern sind

solche Krankheitsbilder bei Motorsägeführern nachgewiesen und untersucht worden, DUPUIS (1982). PYYKKÖ und HYVÄRINEN (1977) konnten bei Arbeitern, die seit Jahren mit vibrierenden Geräten umgingen, unter Schwingungsbelastung vasospastische Reaktionen provozieren. FÄRKKILÄ (1979) zeigte, daß Vibrationsbelastung bei Waldarbeitern in einigen Fällen eine Minderdurchblutung der kontralateralen, nicht exponierten Hand bewirken kann. Er führte dies auf zentralnervöse vasokonstriktorische Einflüsse zurück. OESER (1978) beobachtete angiospastische Reaktionen unter Schwingungsbelastung an beiden Händen gleichermaßen. Dieses Verhalten läßt sich nach seiner Meinung auf einen über das sympathische Nervensystem vermittelten Reflexmechanismus zurückführen. Er bewertet es als Frühsymptomatik einer durch langjährige Vibrationsbelastung bedingten Störung der Vasomotorik. MATOBA et al. (1975a) erkannten unterschiedliche Reaktionen der Fingerpulsamplitude unter zusätzlicher Lärmbelastung bei Arbeitern, die bereits über anfallsweise Durchblutungsstörungen klagten, im Vergleich zu solchen, die diese Beschwerden nicht kannten.

Seit 1976 sind vibrationsbedingte Durchblutungsstörungen in der Bundesrepublik Deutschland als Berufskrankheit anerkannt und unter der Nummer 2104 in die Berufskrankheitenverordnung (BeKV) aufgenommen. Auf internationaler Ebene werden sie im ILO-Abkommen Nr. 121 (1980) unter der Nummer 23 der Anlage III erfaßt.

Zur Beurteilung der Erkrankung und zur Begutachtung im Rahmen der BeKV werden verschiedene Krankheitsstadien unterschieden. Am bekanntesten und wohl am meisten angewandt, DUPUIS (1982) sind die von TAYLOR (1974) und TAYLOR et al. (1977) beschriebenen Stadien (Tabelle 1).

Tabelle 1: Symptome und Beeinträchtigungen durch vibrationsbedingtes vasospastisches Syndrom VVS während verschiedener Krankheitsstadien, TAYLOR (1974), TAYLOR et al. (1977)

Stadien	Merkmale/Symptome	Beeinträchtigungen
0	kein Weißwerden der Finger	keine
0 _T	gelegentliches Prickeln in den Fingerspitzen	keine Arbeitsbehinderung
0 _N	gelegentliche Taubheitsempfindung in den Fingerspitzen	keine Arbeitsbehinderung
1	Weißwerden einer oder mehrerer Fingerspitzen mit oder ohne Prickeln und Taubheit	keine Arbeitsbehinderung
2	Weißwerden eines oder mehrerer ganzer Finger mit Taubheit, auf die Winterzeit beschränkt	Leichte Beeinträchtigung im privaten und sozialen Bereich. Keine Arbeitsbehinderung
3	Umfassendes Weißwerden der Finger meist beider Hände. Häufige Attacken sowohl im Winter als auch im Sommer	Starke Beeinträchtigung bei der Arbeit, im privaten und sozialen Bereich (Hobbies)
4	Symptome wie bei 3, jedoch stärker und häufiger	Beschwerden werden nicht mehr toleriert. Sehr starke Beeinträchtigung, erfordert Wechsel der Beschäftigung

Es gibt eine Vielzahl von Untersuchungen aus dem Ausland, die sich mit der Pathogenese dieses Krankheitsbildes befassen. Eine Reihe von Hypothesen wurden aufgestellt, die den pathophysiologischen Hintergrund aufzuhellen versuchen. PYYKKÖ, HYVÄRINEN (1973) diskutieren die Frage, ob die Zahl der Impulse des Sympathikus in den vasokonstriktorisches Nerven bei den erkrankten Arbeitern eventuell zu hoch ist, oder ob die Gefäßmuskulatur gegenüber solchen Reizen eine zu große Empfindlichkeit zeigt.

KLIMKOVA-DEUTSCHOVA (1966) behauptet, daß Vibrationen ein sich wiederholendes Mikrotrauma darstellen, das nicht nur funktionelle Störungen der Vasomotorik, sondern auch organische, neurologische Schäden verursachen kann. KORADECKA (1980) macht für die Störungen des Haut-Blutkreislaufes ebenfalls direkte traumatische Einflüsse aber auch eine chronische Stimulation der Fasern des sympathischen Systems verantwortlich. REISS (1968) beobachtete ein reduziertes Kapillarbett in den betroffenen Fingern. MARSHALL et al. (1954) schreiben, daß die Schädigung peripherer Nerven möglicherweise für die vasospastischen Attacken verantwortlich gemacht werden kann. PELLEGRINI et al. (1968) beobachteten eine Schädigung der arteriovenösen Anastomosen im Bereich der distalen Fingerabschnitte. LANGAUER-LEWOWICKA (1976) beschreibt den Einfluß von Kryoglobulinen auf die vaskuläre Symptomatik bei erkrankten Personen. Sie spricht von einer "Cryopathie of occupational origin". AZUMA, OHHASHI und SAKAGUCHI (1980) kamen nach Tierversuchen zu dem Ergebnis, daß die lokale zirkulatorische Insuffizienz bei der Vibrationskrankheit als Überempfindlichkeit der arteriellen Gefäßmuskulatur gegenüber Noradrenalin verstanden werden kann. HASHIMOTO und CRAIG (1980)

fanden bei elektronenmikroskopischen Untersuchungen eine degenerative Vakuolisierung des Gefäßendothels. In peripheren Nerven beobachteten sie gehäuft axonale Degenerationen verbunden mit einer Demyelinisierung, d.h. dem Untergang der zugehörigen Schwann'schen Zellen. GEMNE (1982) beschreibt die Pathophysiologie der Vibrationskrankheit wie folgt: 1. Unter Schwingungsbelastung kommt es über die Erregung der Schwingungsrezeptoren der Haut (Pacinische Körperchen) zu häufigen Gefäßkontraktionen, die schließlich zu einer Hypertrophie der Gefäßmuskulatur führen. Ein zusätzlicher Kontraktionsreiz, wie es beispielsweise Kälte darstellt, kann dann einen Vasospasmus auslösen. 2. Eine weitere Theorie geht davon aus, daß es unter häufiger Schwingungsbelastung zu einer überschießenden Reaktion des über sympathische Nervenfasern vermittelten vasokonstriktorischen Reflexes kommt. Zusätzliche Reize wie Lärm oder Kälte lösen dann ebenfalls eine vasospastische Attacke aus (Abbildung 1). GEMNE (1982) betont, daß neben der Vibrationseinwirkung andere Einflüsse wie Kälte, Lärm und ergonomische Faktoren die periphere Durchblutung beeinträchtigen und Störungen im Sinne eines sekundären Raynaud Syndroms bewirken können. Sie sind in einer Arbeit von DUPUIS (1982) zusammengefaßt dargestellt (Abbildung 2).

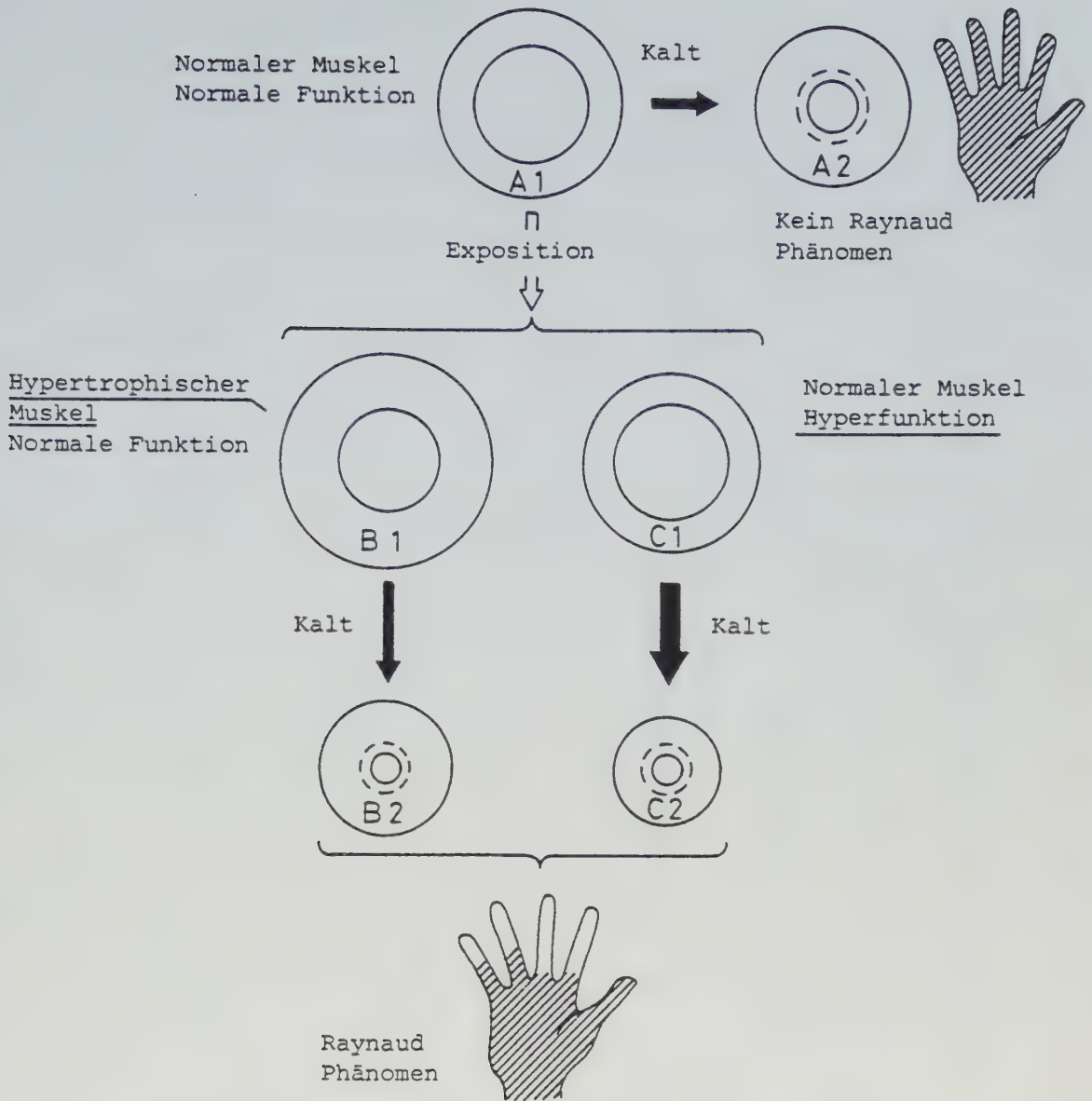


Abbildung 1: Mögliche Pathogenese der Entwicklung eines Raynaud Syndroms bei langjähriger Schwingungsexposition. Die Dicke der Pfeile gibt die Stärke der Vasokonstriktion bei einer bestimmten Kälteexposition wieder. Unterhalb des Gefäßlumens, das durch die unterbrochenen Kreise wiedergegeben wird, kommt es zum Auftreten eines Raynaud Phänomens. (Schematische Darstellung nach GEMNE, 1982).

Beruflich bedingte Belastung (exogene Belastung)

3.1.1.3. Schwingungsbewertung und Gesundheitsrisiko des vibrationsbedingten vasospastischen Syndroms VVS

Für eine Schwingungsbeurteilung ist vor allem auch in versicherungsrechtlicher Hinsicht von Bedeutung, wie hoch das Risiko einzuschätzen ist, an einem vibrationsbedingten vasospastischen Syndrom VVS zu erkranken. Die erst vor wenigen Jahren erfolgte Anerkennung des VVS als Berufskrankheit, sowie die bei der Begutachtung in unserem Lande fehlenden Erfahrungen, machen es verständlich, daß in der Bundesrepublik Deutschland hierzu bisher keine Vorstellungen vorhanden sind, DUPUIS (1982). Man hat sich deshalb in der Beurteilung der Schwingungsexposition bisher darauf beschränkt, die Richtwerte der Internationalen Richtlinie "Guide for the measurement and the assessment of human exposure to vibration transmitted to the hand" ISO/DIS 5349 (1979) zu übernehmen und in die VDI Richtlinie 2057 einzuordnen. Beide Richtlinien unterscheiden sich prinzipiell nicht, sondern benutzen die gleiche Frequenzbewertung, SCHÄFER, DUPUIS (1985). Diese kann der Abbildung 3 entnommen werden.

Ein Anhang zu dem noch nicht veröffentlichten 2. Entwurf der Richtlinie ISO/DIS 5349 (1983) erlaubt neuerdings eine statistische Voraussage, wie hoch das Gesundheitsrisiko anzusehen ist, ein VVS des Stadium I nach TAYLOR zu erleiden. Es liegt eine Arbeit von BRAMMER (1980) zugrunde, der die Zusammenhänge zwischen Schwingungsintensität, täglicher Expositionsdauer, Dauer der beruflichen Exposition in Jahren und der Erkrankungswahrscheinlichkeit untersucht hat. Hierzu wurden von ihm zahlreiche retrospektive epidemiologische Studien, die innerhalb der letzten zehn Jahre im Ausland durchgeführt worden sind, ausgewertet: TAYLOR et al. (1975), HELLSTRÖM et al. (1972), SEPPÄLAINEN (1972), BOVENZI et al. (1980). Die hieraus abgeleiteten Dosis-Wirkungs-Beziehungen sind in der Abbildung 4 dargestellt.

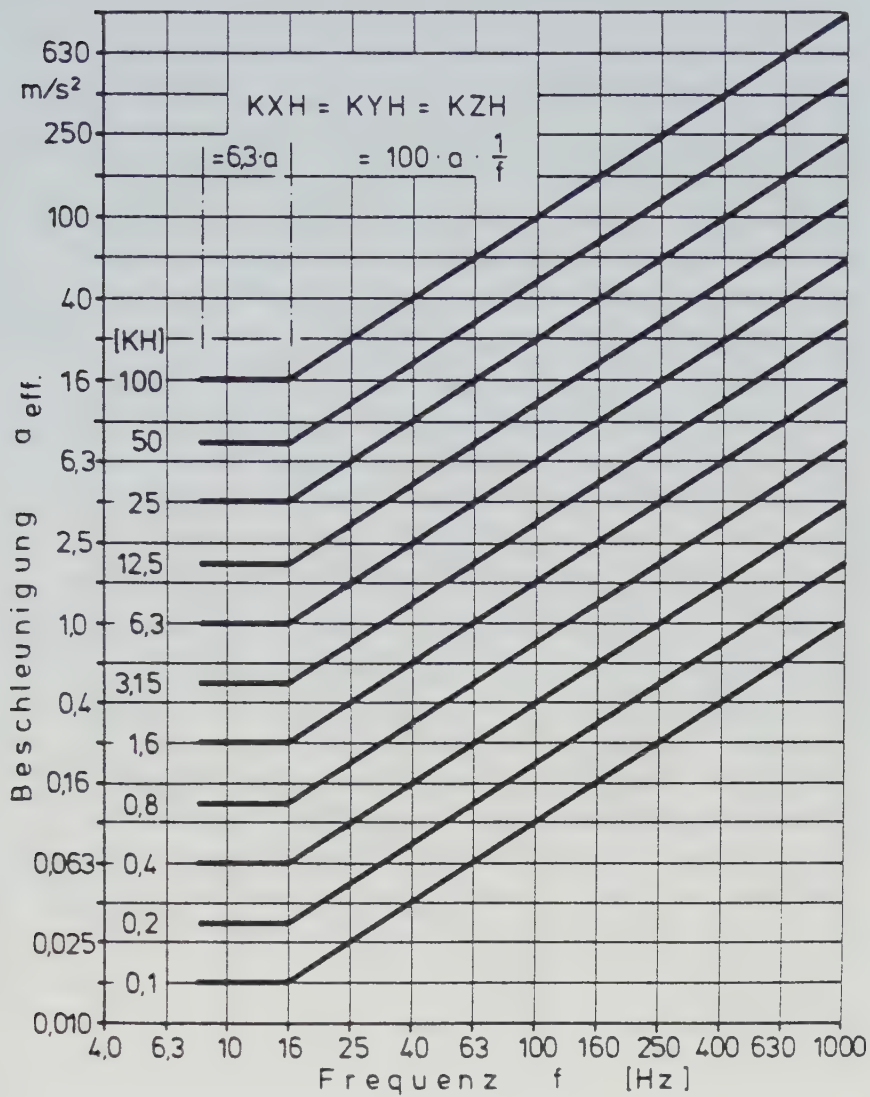


Abbildung 3: Kurven gleicher bewerteter Schwingstärke K_{XH} , K_{YH} , K_{ZH} in Abhängigkeit von Frequenz und Schwingbeschleunigung bei Einwirkung über das Hand-Arm-System
- VDI 2057 Blatt 2 (1981) -

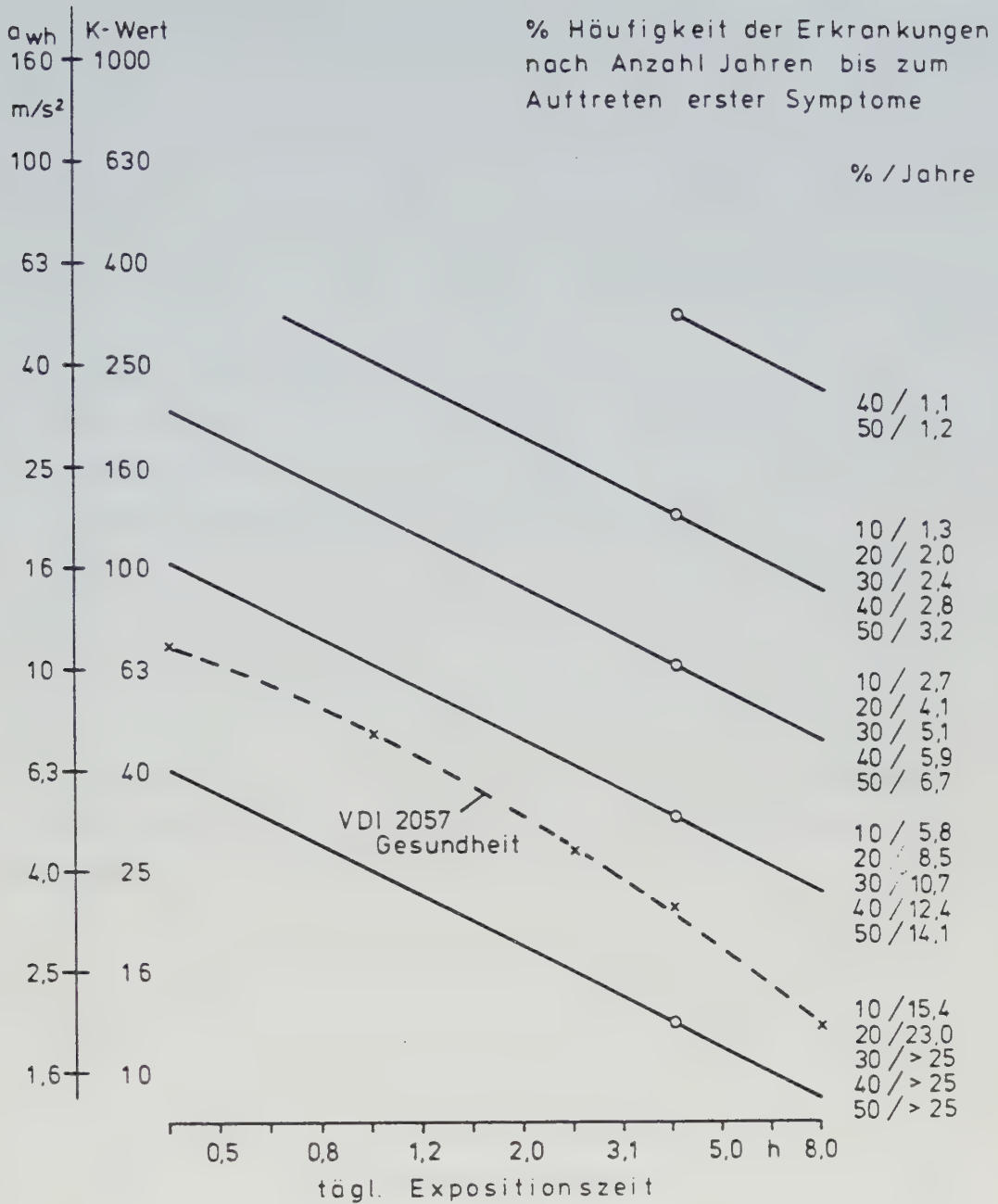


Abbildung 4: Gesundheitsrisiko für Stadium I des vibrationsbedingten vasospastischen Syndroms VVS nach Anhang zum 2. Entwurf für ISO/DIS 5349 (1983)

3.1.2. Einfluß akustischer Schwingungen

Die Benutzung vibrierender Arbeitsgeräte ist meist mit einer erheblichen Lärmbelastung verbunden. Lärm kann eine direkte Schädigung des Hörorgans bewirken. Die Lärmschwerhörigkeit ist eine Innenohrschwerhörigkeit und zählt zu den häufigen Berufskrankheiten.

Es gibt allerdings auch eine Vielzahl extra-auraler Lärmwirkungen, die auf die zahlreichen neuronalen Verknüpfungen der zentralen Hörbahn mit anderen Systemen des zentralen Nervensystems hinweisen. ROHEN (1978) spricht beispielsweise von akustischen Reflexverbindungen zu den Augenmuskeln, zu sensorischen Systemen und zu dem vegetativen Nervensystem. Die hierarchische Ordnung des vegetativen Nervensystems ist eng verzahnt mit den Strukturen der sensorischen und somato-motorischen Systeme und kann besonders auf höherer Ebene von diesen nicht mehr getrennt werden.

Akustische Einflüsse auf die periphere Durchblutung, die unter der Kontrolle vegetativer Zentren steht, wurden von JANSEN, THUTEWOHL (1968) beobachtet. Mit Hilfe der Fingerplethysmographie konnten sie zeigen, daß es unter Lärmbelastung bei den meisten Versuchspersonen zu einer Verringerung der Fingerpulsamplitude kam. Sie leiteten daraus ab, daß Lärm zur Konstriktion peripherer Gefäße führen kann. SCHROETER (1981) erklärt dieses Verhalten mit einer verstärkten Katecholaminausschüttung unter Lärmeinfluß.

WEICHENRIEDER (1977) untersuchte die Veränderung der peripheren Fingerdurchblutung unter gleichzeitiger Vibrations- und Lärmbelastung (rosa Rauschen 100 dB(A)). Hinsichtlich der Reaktion der Fingerpulsamplitude fand

er einen additiven Effekt beider Belastungsgrößen. Dies galt nicht für das Verhalten der Hauttemperatur. Einen deutlichen zusätzlichen Lärmeinfluß, verglichen mit dem Verhalten bei alleiniger Vibrationsbelastung, konnte er hier nicht beobachten. ESS (1984) fand bei Untersuchungen an gesunden Probanden, daß die Initialreaktion des Fingerpulses, die sich in einem signifikanten Abfall der Amplitudengröße zeigte, unter gemeinsamer Vibrations- und Lärmeinwirkung in etwa der Reaktion im Lärmversuch entsprach. MATOBA et al. (1975b) stellten fest, daß sich die Erholungszeit der Fingerpulsamplitude nach Lärmbelastung zwischen Arbeitern, die in der Anamnese vasospastische Attacken angaben und gesunden Probanden unterschied. SCHROETER (1981) betont extra-aurale Lärmeinflüsse insbesondere auf das vegetative Nervensystem, verweist jedoch darauf, daß eine additive Wirkung von Lärm und Vibration hinsichtlich einer peripheren Durchblutungsminde rung nicht nachgewiesen sei.

Eine Mitwirkung des Lärms bei der Entstehung vasospastischer Attacken, wie sie bei Arbeitern mit langjähriger Schwingungsexposition bekannt sind, werden von LEHMANN (1956) und JANSEN (1971) bejaht. KLOSTERKÖTTER (1975) verneint die Mitwirkung des Lärms bei der Entstehung eines vasospastischen Syndroms. Er ist weiterhin der Auffassung, daß fingerplethysmographische Messungen keine generellen Rückschlüsse auf allgemeine Gefäßreaktionen zulassen, da unterschiedliche Gefäßgebiete nach seiner Meinung differenzierte Regulationsreaktionen zeigen. ESS (1984) ist hingegen der Meinung, daß die von ihm unter Lärmbelastung beobachteten initialen Durchblutungsminde rungen, die sich in der Verringerung der Fingerpulsamplitude und einem Hauttemperaturabfall zeigten, für die Mitbeteiligung des Lärms bei der Entstehung eines sekundären Raynaud Phänomens sprechen.

3.1.3. Einfluß klimatischer Faktoren

Die periphere Hautdurchblutung steht im Dienste der Thermoregulation des Gesamtorganismus. Unter Kälteeinfluß kommt es deshalb aus Gründen der Wärmeeinsparung zu einer Durchblutungsminderung in der Peripherie.

KORADECKA (1980) stellt in diesem Zusammenhang fest, daß Kältereize auf die Entstehung eines vasospastischen Syndroms, wie es bei langjähriger Schwingungsexposition beobachtet wird, einen provozierenden Einfluß haben.

Das Merkblatt für die arbeitsmedizinische Untersuchung zu Nr. 2104 der BeKV, BMA (1979) weist darauf hin, daß die Beschwerden meist im Winterhalbjahr bei Arbeitsbeginn auftreten. Unter Punkt III wird weiterhin ausgeführt, daß die vasospastischen Anfälle durch Kälteeinfluß begünstigt werden und in fortgeschrittenen Stadien auch unabhängig von der beruflichen Tätigkeit auftreten. Die VDI-Richtlinie 2057, Blatt 3 (1979) stellt hierzu fest, daß niedrige Umgebungstemperaturen die Gefährdung erhöhen können, quantitative Aussagen jedoch nicht möglich seien. Dies entspricht inhaltlich der Aussage der internationalen Richtlinie ISO/DIS 5349 (1979).

Aus verschiedenen epidemiologischen Studien scheint hervorzugehen, daß niedrige Temperaturen einen zusätzlichen Einfluß auf die periphere Durchblutung haben, DUPUIS (1982). Bei Arbeitern, die im italienischen Hochgebirge in Steinbrüchen beschäftigt waren, entwickelte sich das vasospastische Syndrom schon nach einigen Monaten der Schwingungsexposition, ROSSO und DUGHERA (1967). In den Bergwerken von Singapur sei die Entwicklung dieser Erkrankung bei Arbeitern auch nach mehrjähriger Tätigkeit nicht beobachtet worden, DAVIES et al. (1957). Außerdem scheint das Vorkommen der Weißfingerkrankheit bei Motorsägeführern in den nordischen Ländern und in Kanada häufiger zu sein als in wärmeren Regionen.

Längere und regelmäßige Kälte- oder Hitzebelastungen führen zu Umstellungen der Thermoregulation im Sinne einer Anpassung an das veränderte Klima, in die auch die Regulation der peripheren Durchblutung mit einbezogen wird. ZAGORSKI (1976) beobachtete bei Untersuchungen an 40 Versuchspersonen, daß die nicht Kälte-akklimatisierten Probanden unter Vibrationsbelastung mit einem stärkeren Abfall der Hauttemperatur reagierten als die Kälte-akklimatisierten Personen. KORADECKA (1982) fand bei Arbeitern, die der Einwirkung von Schwingungen ausgesetzt waren, daß es unter zusätzlicher Kälteeinwirkung zu einem unterschiedlichen Verhalten von Nähr- und thermoregulierender Komponente der Hautdurchblutung kam. Im Gegensatz zur Kontrollgruppe beobachtete sie eine Zunahme der nutritiven und eine Abnahme der wärme-regelnden Komponente des Haut-Blutkreislaufes der Finger.

LIDSTRÖM (1982) ist der Auffassung, daß die Gefäßstörungen wahrscheinlich unabhängig davon entstehen, ob die den Vibrationen ausgesetzte Person in einem warmen oder kalten Klima arbeitet. Sie berichtet über Erkrankungsfälle bei Motorsägearbeitern in tropischen Regenwäldern. Eine Reihe von Autoren weist jedoch auf eine zusätzliche nachteilige Wirkung von Kälte bei gleichzeitiger Vibrationsbelastung des Organismus hin. Sie gehen davon aus, daß beide Faktoren synergistisch eine Minderung der peripheren Durchblutung bewirken, AGATE (1949), ASHE, COOK and OLD (1962), PYYKKÖ und HYVÄRINEN (1977), ZAGORSKI (1976), KORADECKA (1982), SCHROETER (1981).

JANSEN (1983) erklärte anläßlich eines Sachverständigen-Kolloquiums zur Wirkung von Hand-Arm-Schwingungen, daß mitwirkende Belastungsfaktoren wie Kälte, Lärm und Haltekraften einen eindeutigen Einfluß auf die akuten Reaktionen ausüben. Allerdings sei die quantitative Beziehung der verschiedenen Faktoren noch nicht eindeutig erfaßbar.

3.1.4. Einfluß statischer Haltearbeit

Bei der Arbeit mit vibrierenden, handgeführten Maschinen sind neben der Vibrationsbelastung, dem Lärmeinfluß und der Umgebungstemperatur auch die aufzubringenden statischen Haltekräfte und die Arbeitstechnik von arbeitsmedizinischem Interesse. Die zur Geräteführung erforderliche Handgreifkraft und eine oft zusätzlich notwendige Armandruckkraft beeinflussen den Kraftschluß zwischen Hand und Gerät. Diesen Kräften muß damit ein unmittelbarer Einfluß auf das biomechanische Schwingungsverhalten des Hand-Arm-Systems und die Muskelaktivität zugeschrieben werden, DUPUIS, HARTUNG, HAMMER (1976b). IWATA (1972) fand bei biomechanischen Untersuchungen, daß ein intensiver Kraftschluß zu einer großen Beschleunigungsübertragung an allen Gelenken des Hand-Arm-Systemes führt.

Außerdem wird über den Grad der Ankopplung der Hand an die Schwingungsquelle die Vibrationsüberleitung mit ihrer Wirkung auf die periphere Durchblutung beeinflusst. Schließlich muß auch damit gerechnet werden, daß die statische Greifkraft selbst die periphere Durchblutung herabsetzt, DUPUIS et al. (1976a).

Schon HAMILTON (1918) erkannte einen Zusammenhang zwischen dem Ausüben von Greifkräften und einer peripheren Durchblutungsminde rung. JEPSON (1954) stellte fest, daß statische Greifkräfte neben der Schwingungsbelastung und individuellen Einflüssen zu den physikalischen Faktoren gehören, die das Auftreten eines sekundären Raynaud Phänomens fördern.

Die Arbeitstechnik ist bei den verschiedenen Geräten unterschiedlich und außerdem vom Übungsgrad des Arbeiters abhängig. Sie wirkt indirekt über die Armhaltung auf die periphere Durchblutung ein, die sich infolge Änderung

des intramuralen Gefäßdruckes lageabhängig ändert. GEMNE (1982) geht davon aus, daß sich neben der Greifkraft auch die Armhaltung während der Arbeit auf die periphere Durchblutung auswirkt. Das Senken der Hand unter das Herzniveau führt nach seiner Meinung zu einer vorübergehenden Konstriktion der präkapillären Widerstandsgefäße. Die durch das Zugreifen bedingte Muskelarbeit bewirkt eine Zunahme der Muskeldurchblutung, die aus seiner Sicht durch eine Umverteilung zu Lasten der peripheren Hautdurchblutung ermöglicht wird. KRAMER et al. (1981) fanden, daß die statische Muskelarbeit im Sinne einer isometrischen Muskelanspannung eine Erhöhung von Herzfrequenz und Blutdruck verursacht.

DUPUIS et al. (1976a), DUPUIS und WEICHENRIEDER (1977), stellten fest, daß schon allein die Ausübung der statischen Kraft - als Greifkraft der Hände und als Andruckkraft der Arme - eine signifikante Reduktion der peripheren Durchblutung bewirkt. KLOSTERKÖTTER (1974) beobachtete beim Halten einer Motorsäge deutliche Änderungen von Fingerpulsamplitude und Hauttemperatur. WEICHENRIEDER (1977) vermutete, daß statische Haltekräfte möglicherweise den entscheidenden Beitrag zur Durchblutungsminderung liefern.

ESS (1984) konnte mit seinen Untersuchungen diese Vermutung bestätigen. Er fand, daß Greif- und Andruckkraft den größten lokalen Einzeleffekt, Lärm den größten generalisierten Einfluß auf die periphere Durchblutung zeigen. Er führte weiterhin aus, daß der durch lokale Muskelkompression bedingte Faktor als die für die Durchblutungsveränderung maßgebliche Einflußgröße angesehen werden muß.

3.2. Mitwirkung individueller Faktoren

Bei der primären Raynaud'schen Erkrankung handelt es sich um einen funktionellen Vasospasmus, der auf dem Boden einer konstitutionell bedingten Gefäßlabilität meist unter zusätzlicher Kälteeinwirkung entsteht. Die Mitwirkung hormoneller Faktoren scheint gesichert.

Sekundäre Raynaud Phänomene werden als Begleitsymptome bei Systemerkrankungen wie Kollagenosen oder Angitiden, aber auch bei Stoffwechselstörungen und Intoxikationen beobachtet. Sie treten außerdem bei Arbeitern nach langjähriger Schwingungsexposition auf. Für die Entstehung des Krankheitsbildes werden in diesem Fall von verschiedenen Autoren ebenfalls konstitutionelle Gründe angeführt.

KNIEB (1981) beobachtete an Gußputzern, daß die persönliche Empfindlichkeit gegenüber Schwingungsbelastungen bei der Entstehung eines vasospastischen Syndroms eine bedeutsame Rolle spielt. FRANKE und HILDRETH (1956) fanden, daß sich diese unterschiedliche Empfindlichkeit in unterschiedlichen Gefäßreaktionen widerspiegelt. Sie stellten die Frage, ob man daraus auf das Ausmaß eventueller späterer Gefäßschäden schließen könne und forderten, daß dies in Langzeitstudien überprüft werden sollte. JEPSON (1954) ist der Meinung, daß individuelle Empfindlichkeit gegenüber Schwingungen das Auftreten eines Raynaud Phänomens fördern kann. KLIMKOVA-DEUTSCHOVA (1966) betont, daß die Ursachen von Gesundheitsschäden wie Polyneuropathien und Myelopathien, die unter dem Einfluß von Vibrationen auftreten, nicht immer auf eine lange Expositionszeit, sondern auch auf individuelle Faktoren und konstitutionelle Momente zurückzuführen sind. FÄRKKILÄ und PYYKKÖ (1979) weisen ebenfalls auf die

individuellen Einflüsse bei der Symptomatik des vasospastischen Syndroms hin. LAROCHE (1976) erwähnt die Bedeutung prädisponierender Faktoren. Er betont, daß andere Krankheiten aus dem Formenkreis der Systemerkrankungen oder aus dem Kreis der Gefäßkrankheiten, aber auch Nikotinabusus die Entwicklung eines Raynaud Phänomens begünstigen können.

JANSEN (1968) fand, daß die vasomotorischen Reaktionen unter Lärmbelastung von der vegetativen Ausgangslage der Versuchsperson abhängig sind. GEMNE (1982) weist auf die Bedeutung von Streßfaktoren wie Frustration und Unzufriedenheit am Arbeitsplatz, aber auch auf psychosoziale Einflüsse außerhalb des Berufslebens hin. Sie alle können rein vasomotorisch über das sympathische Nervensystem, aber auch durch endogene Adrenalinausschüttung stärkere Veränderungen der Hautdurchblutung im Bereich der Finger bewirken, GOLENHOFEN (1981).

GEMNE (1982) hebt die Vielfalt der Faktoren hervor, die zusammen bei der Entwicklung eines vasospastischen Syndroms mitwirken. Er betont, daß Untersuchungen gefördert werden sollten, die diesen Sachverhalt berücksichtigen. Sie sollten darauf abzielen, hochgefährdete Personen zu erkennen. Von großem Wert seien prospektive Studien. Auf diese Weise könnten bestimmte Gruppen von Arbeitern hinsichtlich der Expositionszeit sowie unter Berücksichtigung medizinischer und psychologischer Parameter als auch an Hand klinischer Labortests von Beginn ihrer beruflichen Tätigkeit an erfaßt werden.

In der Bundesrepublik Deutschland haben sich jedoch zuverlässige und praxisorientierte Verfahren zur Bestimmung der persönlichen Eignung - bei Ausschluß anlagebedingter peripherer Störungen - bisher nicht durchgesetzt, DUPUIS (1982).

3.3. Physiologie der peripheren Durchblutungsregulation

Die Blutgefäße dienen als Leitungsrohre für das Transportmedium Blut. Sie glätten die rhythmischen Strompulse des Herzens und wirken als Druckreservoir (Windkesselfunktion). Sie verteilen das Herzminutenvolumen auf die parallel geschalteten "Stromabnehmer" (Verteilungsfunktion) und beeinflussen den Flüssigkeits- und Stoffaustausch zwischen Blut und Geweben (Austauschfunktion). Schließlich erfüllen sie auch die Aufgaben eines Volumenreservoirs und übernehmen somit auch Kapazitätsfunktionen, BUSSE (1982).

Die Durchblutungsregulation erfolgt hauptsächlich im Bereich der terminalen Strombahn. Hier spielen die Arteriolen als sogenannte Widerstandsgefäße eine bedeutende Rolle. Die Wände dieser den Kapillaren vorgeschalteten kleinen Gefäße enthalten im Bereich der präkapillären Sphinkteren einen besonders großen Anteil an glatter Muskulatur. Das Verhältnis von Innenradius zur Wandstärke ist klein. Solche günstigen Ausgangsbedingungen machen diese Gefäße zu idealen Widerstandsgefäßen, BUSSE (1982).

3.3.1. Mechanismen der Durchblutungsregulation der Haut

Die periphere Durchblutung wird auf nervalem Wege über das vegetative Nervensystem, auf humoral-hormonalem Wege und direkt durch lokal-chemische Einflüsse gesteuert. Die Bedeutung dieser verschiedenen Regelmechanismen variiert deutlich.

Die nervale Steuerung wird vom Sympathikus übernommen. Eine Stimulation des Sympathikus führt zu einer Erhöhung des peripheren Widerstandes. Dies geschieht über die Aktivierung von α -Rezeptoren in der glatten Gefäßmuskulatur durch die Neurotransmitter Noradrenalin und Adrenalin.

Der Einfluß der vasokonstriktorischen Nerven ist jedoch regional so unterschiedlich, daß man kaum noch von einem einheitlichen Haut-Organ sprechen kann, GOLENHOFEN (1981). Die Akren stehen beispielsweise ganz unter ihrer Kontrolle. Nach Nervenblockade dilatieren die Gefäße in diesem Bereich sehr stark bis ihr Basaltonus erreicht ist.

Für die zentrale Steuerung der Hautzirkulation ist der humorale Weg von wesentlich geringerem Gewicht als der nervale, GOLENHOFEN (1981). Der Organismus bedient sich dieses Mechanismus, wenn er aus dem Nebennierenmark Adrenalin und Noradrenalin ausschüttet. Neben den Katecholaminen wird die Hautdurchblutung auch durch die Hypophysenhinterlappen-Hormone Vasopressin und Oxytocin beeinflusst. Endogene Substanzen wie Histamine und Kinine, die bei Gewebsschädigungen oder entzündlichen Prozessen von Zellen freigesetzt werden, haben insbesondere einen lokalen Einfluß auf die Hautdurchblutung.

Neben der zentral gesteuerten Durchblutungsregulation gibt es noch verschiedene lokale Regulationsmechanismen, die auf die Aufrechterhaltung eines bestimmten chemischen Milieus ausgerichtet sind und im Dienste des Stoffwechsels stehen. Über einen lokalen Mechanismus erweitert CO_2 die Widerstandsgefäße im Hautbereich. Die Rötung der Haut im CO_2 -Bad gehört zu den ältesten ärztlichen Erfahrungen. Der Wirkungsmechanismus ist unbekannt, BUSSE (1982). Das Stoffwechselprodukt Adenosintriphosphat gehört ebenfalls zu den kräftigsten Vasodilatoren der Hautgefäße.

3.3.2. Äußere Einflüsse auf die Hautdurchblutung

Im Rahmen thermischer Einflüsse auf den Organismus kommt der Hautdurchblutung eine doppelte Funktion zu (Abbildung 5). Zum einen steht sie im Dienste der Thermoregulation des Gesamtorganismus, zum anderen soll sie aber Kälte- und Hitzeschäden des Hautorgans selbst verhindern. Während im warmen Bereich beide Aufgaben zu gleichgerichteten Veränderungen führen, kommt es bei starker Kältebelastung zu Konflikten:

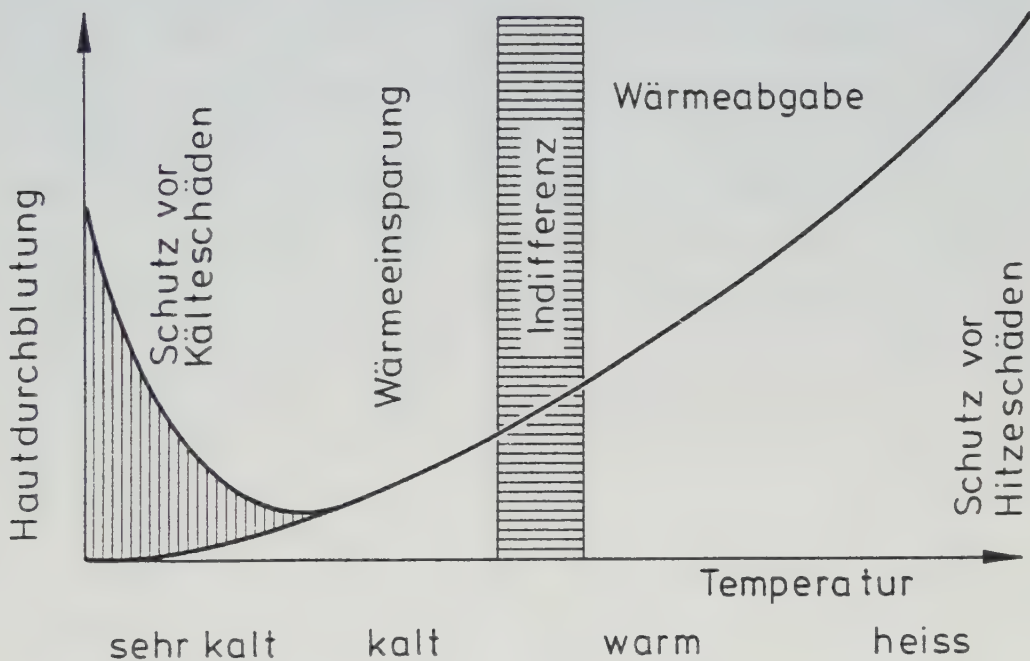


Abbildung 5: Schematische Darstellung zum Verhalten der Hautdurchblutung bei verschiedenen Umgebungstemperaturen nach GOLENHOFEN (1971). Der Bereich der Behaglichkeit (thermische Indifferenz) ist horizontal schraffiert. Vertikale Schraffierung: Bereich der periodischen Kältevasodilationen.

Zur Wärmeeinsparung soll die Durchblutung reduziert werden, die Verhütung lokaler Kälteschäden fordert dagegen eine Durchblutungssteigerung, GOLENHOFEN (1981).

Eine Änderung des transmuralen Druckes der Hautgefäße und damit eine Änderung der peripheren Durchblutung, kann auch durch Lageänderungen oder durch äußeren Gegendruck hervorgerufen werden. Das Anheben der Hand über Herzhöhe oder äußerer Druck führen zu einer Abnahme des Perfusionsdruckes und bewirken dadurch eine Abnahme der Handdurchblutung. Die Hautgefäße sind jedoch auf der anderen Seite in der Lage, eine druckpassive Dehnung mit einer Tonussteigerung im Sinne einer myogenen Reaktion zu beantworten (Bayliss Effekt), HENRIKSEN (1973), HOLLOWAY (1976). Bei forciertem Rauchen (3 Inhalationen/Minute) hat GOLENHOFEN (1981) neben einem Pulsfrequenzanstieg und einer leichten Blutdruckerhöhung eine starke Verminderung der Handdurchblutung beobachtet. Diese Reaktion wird nach seiner Auffassung überwiegend durch vasokonstriktorische Nerven, aber auch durch Katecholaminausschüttungen bewirkt.

Zu Beginn muskulärer Arbeit kommt es zu einer generellen Einschränkung der Hautdurchblutung, die als eine kompensatorische Konstriktion zugunsten der Muskulatur gewertet werden kann, BEVEGARD und SHEPARD (1967), ROWELL (1974).

3.4. Weitere Auswirkungen von Schwingungsbelastungen auf das Hand-Arm-System

3.4.1. Akute Wirkungen

3.4.1.1. Einflüsse auf das biomechanische Schwingungsverhalten

Untersuchungen von DUPUIS et al. (1973 und 1976b) mit Hilfe von Schwingungssimulatoren haben ergeben, daß vom Handgelenk über das Ellenbogengelenk bis zum Schultergelenk ein Beschleunigungsabbau stattfindet. CARLSÖÖ und MAYR (1974) konnten bei der Arbeit mit einem pneumatischen Hammer ebenfalls zeigen, daß die Schwingungsbelastung in distaler-proximaler Richtung, das heißt mit zunehmender Entfernung von der Stelle der Schwingungseinleitung in der Hand, deutlich abnimmt.

Schwingungen, die bei der Arbeit an handgeführten Geräten auf den Organismus einwirken, verursachen im Bereich des Hand-Arm-Systems Resonanzen und führen damit zu einer besonders starken Beanspruchung der Gelenke. Hinsichtlich des Frequenzeinflusses fanden DUPUIS et al. (1973 und 1976b), daß es bei Schwingungserregung in horizontaler z-Richtung am Handgelenk sowie am Ellenbogengelenk zu Resonanzen mit Maxima zwischen 10 und 20 Hz kommt. Oberhalb des Resonanzbereiches zeigte sich mit zunehmender Frequenz eine deutliche Schwingungsminderung an allen untersuchten Körpermeßstellen. SCHIRMER (1985) untersuchte das biomechanische Übertragungsverhalten unter dem Einfluß von Maschinenschwingungen, die sich hinsichtlich ihrer Stoßhaltigkeit und ihrer Frequenzanteile unterschieden. Beim Aufbruchhammer mit einer Grundfrequenz von 16 Hz konnte er Resonanzerscheinungen im Hand- und Ellenbogengelenk nachweisen.

Hinsichtlich des Einflusses des Ellenbogenwinkels auf die Schwingungsübertragung konnten DUPUIS et al. (1976b) nachweisen, daß bei großem Ellenbogenwinkel (180°) die Schwingungsübertragung relativ gering ist, während sie mit abnehmendem Winkel (bis zu 60°) deutlich zunimmt.

3.4.1.2. Beeinflussung der Muskelaktivität

Aus physiologischer Sicht muß damit gerechnet werden, daß jede starke Schwingungsübertragung auf das Hand-Arm-System auch zu starken reflektorischen Muskelaktionen führt, DUPUIS et al. (1976b). Diese Muskelreaktionen treten unter Schwingungseinfluß in horizontaler z-Richtung auf und betreffen sowohl den M. biceps als auch in besonderem Maße den M. triceps. DUPUIS et al. (1976b) konnten zeigen, daß gegenüber Ruhebedingungen und gegenüber rein statischer Muskelarbeit beträchtliche Erhöhungen der elektrischen Aktivität vor allem des M. triceps auftreten, die ihr Maximum in einem niedrigen Frequenzbereich der Schwingungserregung haben. Dies bestätigt, daß diese Muskelgruppe in besonders starkem Maße an der Stabilisierungsarbeit beteiligt ist. Mit zunehmender Frequenz fällt die elektrische Aktivität ab.

HELD (1980) beobachtete unter Schwingungsbelastung bei steigender Schwingbeschleunigung, daß die elektrische Muskelaktivität deutlich zunimmt. HETTINGER (1953) wies nach, daß bei Drucklufthammerarbeit mit zunehmender Expositionszeit eine Ermüdung der Muskeleigenreflexe auftritt.

Untersuchungen von SCHIRMER (1985) bestätigen, daß die Muskelaktivität des M. triceps brachii unter sinusförmiger Schwingungsbelastung im niederfrequenten Bereich (16 und 28 Hz) auf Grund der Resonanzerscheinungen des Hand-Arm-Systems besonders hoch ist. Er konnte weiterhin zeigen, daß dieser Muskel unter Belastung mit Maschinenschwingungen zunehmender Stoßhaltigkeit eine ansteigende Aktivität aufweist. Er führt dies darauf zurück, daß er entscheidend am "Abfangen" der stoßhaltigen Schwingungen beteiligt ist.

3.4.1.3. Einflüsse auf die subjektive Wahrnehmung

Untersuchungen zu der Frage, wie sich die Stärke der subjektiven Schwingungswahrnehmung bei verschiedenen Frequenzen und Beschleunigungsamplituden verhält, wurden von DUPUIS et al. (1976b) durchgeführt. Sie fanden, daß sich die Versuchspersonen mit steigender Frequenz eine etwa linear ansteigende Beschleunigung zumuteten. Die Ergebnisse zeigen somit eine weitgehende Übereinstimmung der subjektiven Wahrnehmung mit den biomechanischen und muskelphysiologischen Reaktionen: mit ansteigender Frequenz - entsprechend der Verminderung der mechanischen Schwingungsübertragung - muß die Beschleunigung angehoben werden, die eine gleichstarke Wahrnehmung hervorruft wie die Vibrationen mit niedriger Frequenz, DUPUIS (1982).

Zum Einfluß von Schwingungen mit stoßhaltigen Anteilen auf die subjektive Wahrnehmung gibt es verschiedene Untersuchungen. KRAUSE (1977) beobachtete im Laborexperiment bei den untersuchten Personen nach impulsartiger Vibrationsexposition eine größere Föhlschwellenverschiebung als bei einer gleich bewerteten sinusförmigen Schwingungsbelastung. Je größer die Impuls-Anstiegszeit gewählt wurde, desto weniger stark wurden die Impulse empfunden. GRIFFIN und WHITEHAM (1980) zeigten, daß bei gleichem Beschleunigungseffektivwert Schwingungen mit wachsender Stoßhaltigkeit subjektiv unangenehmer empfunden werden. SCHIRMER (1985) fand bei Untersuchungen zur akuten Wirkung von stoßhaltigen Schwingungen auf das Hand-Arm-System, daß stochastische teilweise stoßhaltige Geräteschwingungen subjektiv stärker empfunden werden als die verglichenen Sinusschwingungen, die der Arbeitsfrequenz der jeweiligen Geräteschwingungen entsprachen. Einen Zusammenhang zwischen Anstieg der Stoßhaltigkeit und Abnahme des eingestellten K-Wertes konnte er nicht nachweisen.

3.4.2. Chronische Wirkungen

3.4.2.1. Einflüsse auf das Skelettsystem

Vibrationsbedingte Erkrankungen der Knochen und Gelenke des Hand-Arm-Systemes werden in der Berufskrankheitenverordnung (BeKV) unter der Nummer 2103 erfaßt. Die Änderungsverordnung zur 7. BeKV vom 8.12.1976 spricht von Erkrankungen durch Erschütterung bei Arbeit mit Druckluftwerkzeugen oder gleichartig wirkenden Werkzeugen oder Maschinen.

Krankheitsstadium

nach : MINDESTENS 2-JÄHRIGER / 5-10 JÄHRIGER
REGELMÄSSIGER BERUFSTÄTIGKEIT

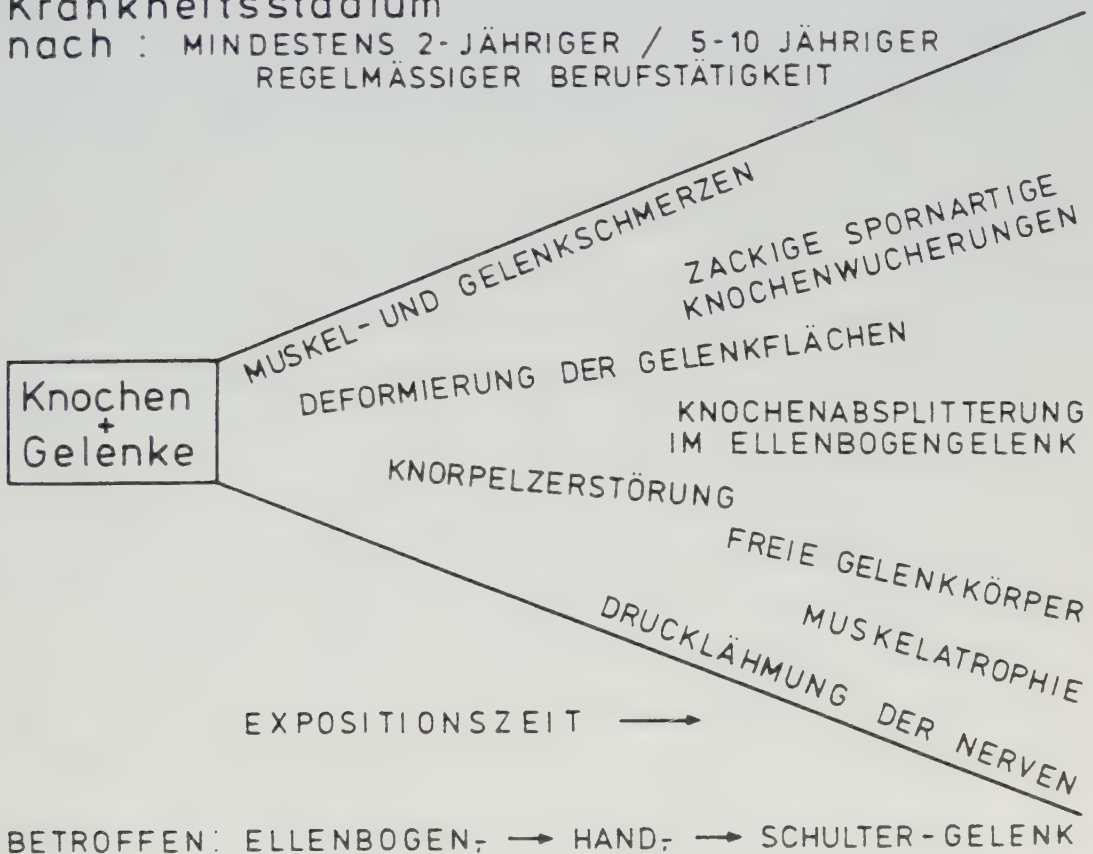


Abbildung 6: Krankheitsbilder der vibrationsbedingten Knochen- und Gelenkerkrankungen (schematisch) - DUPUIS (1982) -

IWATA et al. (1973) beschreiben drei Gruppen von Erkrankungen: intra- und periartikuläre Exostosen, Formveränderungen an Epiphysen und Gelenkoberflächen, sowie Dekalzifikationen der Knochen im Hand-Arm-Bereich. DUPUIS (1982) hat in einer schematischen Übersicht typische Krankheitsbilder der vibrationsbedingten Knochen- und Gelenkerkrankungen dargestellt (Abbildung 6).

LAARMANN (1977) betont die degenerative Komponente dieser Erkrankungen. Durch das Mißverhältnis zwischen Belastung und Belastbarkeit der Gelenkflächen komme es zu dem Krankheitsbild der Arthrosis deformans. Am häufigsten wird das Ellenbogengelenk betroffen. Veränderungen im Handgelenk, im Bereich der Handwurzelknochen sowie im Acromioclaviculargelenk (Schulterergelenk) werden seltener beobachtet.

Klinisch finden sich vor allem Bewegungseinschränkungen, insbesondere eine Behinderung der Beugung und Streckung, während die Pro- und Supinationsbewegungen in der Regel nicht beeinträchtigt sind. Bei einer Reihe von Gelenkschädigungen finden sich Kapselschwellungen, Druckempfindlichkeit des Gelenkes und Atrophie der Muskulatur des Arbeitsarmes, die möglicherweise Ausdruck einer Schonung des Armes ist, HAGEN (1961). DUPUIS (1982) betont, daß die geschilderten Erkrankungen vorwiegend bei der Arbeit mit "schlagenden Werkzeugen" auftreten. HAGEN (1961) spricht von Werkzeugen mit rhythmischen Rückstoßerschütterungen, die bei der Arbeit mit diesen Geräten auf die Halteorgane übertragen werden. Die Stärke dieser Erschütterungen hängt nach seiner Meinung vom Eigengewicht der Maschine, der Schlagfrequenz, der Beschaffenheit des zu bearbeitenden Materials und der aufgewandten Andruckstärke ab. HETTINGER und SCHEFFLER (1958) weisen darauf hin, daß hohe Andruckkräfte zu

einer übermäßigen Gelenkspaltkompression im Ellenbogengelenk führen. Rückstoßkräfte, wie sie beim Arbeiten mit Drucklufthämmern auftreten, können dann zu Knorpel- und Knochenschädigungen führen.

BÜRKLE DE LA CAMP (1964) und LAARMANN (1977) heben die Bedeutung individueller Faktoren hervor. Sie sind der Auffassung, daß es nur bei einer anlagebedingten verminderten Leistungsfähigkeit der Gelenke unter starker Schwingungsbelastung zu vorzeitigen Verschleißerscheinungen kommen kann.

3.4.2.2. Einflüsse auf das Nervensystem

Die Arbeit mit handgeführten vibrierenden Maschinen kann auch zu peripheren Nervenfunktionsstörungen führen. KLIMKOVA-DEUTSCHOVA (1966) berichtet darüber, daß mehr als 60 % einer Gruppe untersuchter Arbeiter lokale Akroparästhesien angaben, die oft von krampfartigen Schmerzen in den Extremitäten begleitet waren. LIDSTRÖM (1974) hat beobachtet, daß die ersten Symptome einer Vibrationsschädigung sich bei einigen Berufsgruppen in einem Taubheitsgefühl und in Parästhesien von Armen und Händen äußern. Weiterhin wurden von den Betroffenen Schmerzen von ausstrahlendem Charakter in den oberen Extremitäten angegeben. STREETER (1970) ist ebenfalls der Meinung, daß Vibrationen, die auf das Hand-Arm-System einwirken, periphere Nerven schädigen können. Neben den direkt in der Haut gelegenen Rezeptoren seien auch die tiefer in der subcutis gelegenen Rezeptoren, insbesondere die Vater-Pacini Körperchen, betroffen. SEPPÄLÄINEN (1972) führte bei 103 Waldarbeitern Messungen der Leitgeschwindigkeit der motorischen Fasern des Nervus ulnaris und des Nervus medianus durch. Bei 50 % der untersuchten Personen fand sie eine Verzögerung

der Leitungsgeschwindigkeit im distalen Teil. Sie führt dies auf eine möglicherweise partielle Demyelinisierung der peripheren Nerven zurück.

Verminderte Schwingungsempfindung in den Fingern und herabgesetzte thermische Wahrnehmung sind weitere objektivierbare Störungen des peripheren Nervensystems. Weiterhin werden von den betroffenen Personen subjektiv Gefühllosigkeit und Kälteempfinden angegeben, DUPUIS (1982).

Einige Autoren gehen davon aus, daß eine längere beruflich bedingte Schwingungsbelastung des Hand-Arm-Systems auch zu Schädigungen des zentralen Nervensystems führen kann. Es stellt sich jedoch die Frage, ob die beschriebenen subjektiven Befunde wie Kopfschmerzen, Schlaflosigkeit, Ohrgeräusche (MATOBA et al. (1977)), aber auch Veränderungen im Elektroencephalogramm, die von RAZUMOV et al. (1967) beobachtet wurden, nicht ebenso auf andere Belastungsfaktoren wie Lärm, Abgase oder Schichtarbeit zurückgeführt werden können.

DUPUIS (1982) stellt hierzu fest, daß für die Entstehung von chronischen Funktionsstörungen des zentralen Nervensystems als Folge von langandauernder Vibrationsbelastung des Hand-Arm-Systems offensichtlich bis heute lediglich Vermutungen und Hypothesen, jedoch keinerlei allgemein gültige wissenschaftliche Beweise vorliegen.

4. Experimentelle Untersuchungen

4.1. Schwingungssimulation

4.1.1. Auswahl von typischen stoßhaltigen Schwingungsverläufen bei handgeführten Arbeitsgeräten zur Erstellung von Simulationsprogrammen

Für die Untersuchungen wurden in Zusammenarbeit mit dem Berufsgenossenschaftlichen Institut für Arbeitssicherheit BIA in St. Augustin die folgenden Gerätearten ausgewählt:

- Elektro-Bohrhammer (BOH)
- Druckluft-Aufbruchhammer (ABH)
- Druckluft-Niethammer (NIH)
- Druckluft-Nagler (NAG)

Es ist aus der Praxis bekannt, daß die Arbeit mit diesen Geräten zu erheblicher Stoßbelastung des Hand-Arm-Systems führt. Weiterhin wurden zwei Maschinen untersucht, deren Schwingungsspektren geringere Stoßanteile enthalten:

- Elektro-Rundschleifmaschine (SFM)
- Motorkettensäge mit Verbrennungskraftmotor (MOS)

Um eine möglichst praxisnahe Schwingungssimulation zu gewährleisten, wurden Schwingungsaufzeichnungen aus Feldversuchen verwendet. Diese wurden entgegenkommenderweise vom Berufsgenossenschaftlichen Institut für Arbeitssicherheit (Fachbereich 4: Lärm und Vibration) zur Magnetbandüberspielung bereitgestellt.

Im einzelnen handelte es sich um die folgenden Geräte:

1. Elektrische Rundschleifmaschine (SFM)

Gewicht: 6,7 kg
Drehzahl: 6.800 U/min
Leistung: 1.950 W
Meßstelle: Handgriff (direkt hinter der Schleifscheibe)
Betriebszustand: Ausschleifen von Oberflächen-
fehlern an Knüppeln
Schleifscheibe war bis auf 1/4
des Durchmessers abgenutzt.

2. Elektrischer Bohrhammer (BOH)

Gewicht: 3,2 kg
Vollastdrehzahl: 620 U/min
Leistung: 450 W
Schlagzahl: 3.400 1/min
Meßstelle: Hinterer Handgriff
Betriebszustand: Bohren von 16 mm Löchern in Beton

3. Druckluft-Aufbruchhammer (ABH)

Gewicht: 38,5 kg
Schlagenergie: 38 Kp
Schlagzahl: 1.170 1/min
Betriebsdruck: 6-8 bar
Meßstelle: Handgriff (Kunststoffüberzogenes
Stahlrohr)
Betriebszustand: Aufbrechen von Schotterboden
Einsatzwerkzeug-Spaten

4. Druckluft-Niethammer (NIH)

Gewicht: 1,6 kg
Schlagzahl: 1.700 1/min
Betriebsdruck: 4-5 bar
Meßstelle: Handgriff (ovaler Aluminiumgriff)
Betriebszustand: Herstellung einer einreihigen
Nietverbindung mit 5 mm dicken
Aluminiumnieten (Halbrundschieß-
kopf). Zu verbindende Teile:
Aluminiumblock 1 mm und Aluminium-
profil 3 mm

5. Druckluft-Nagler (NAG)

Gewicht: 5,8 kg
Betriebsdruck: 6,5 bar
Meßstelle: Handgriff (ovaler Griffquerschnitt)
Betriebszustand: Eintreiben von Nägeln (100 x 3,4 mm)
in einen Kiefern balken (Holzfeuch-
tigkeit 16 %)

6. Motorkettensäge mit Verbrennungskraftmotor (MOS)

Das Anregungsspektrum der Motorsäge basiert auf
Schwingungsmessungen von WEICHENRIEDER (1977). Sie
wurden in Feldversuchen mit mehreren Motorsägen
während des Sägevorganges bei Vollast durchgeführt.
Aus allen Meßergebnissen wurde ein mittleres Frequenz-
spektrum berechnet.

4.1.2. Schwingungssimulation handgeführter Arbeitsgeräte mit Hilfe eines elektromagnetischen Simulators

Die Simulation stoßhaltiger Schwingungsvorgänge stellt eine außerordentlich schwierige Aufgabe dar, bei deren Lösung Kompromisse eingegangen werden mußten, SCHÄFER (1984). Da ein elektrohydraulischer Simulator im höherfrequenten Bereich nicht schnell genug ist, wurde zur Simulation der mechanischen Schwingungen in z-Richtung ein elektromagnetischer Schwingungssimulator (Ling Dynamic System) verwendet, WEICHENRIEDER (1977). Mit diesem System lassen sich im Frequenzbereich 1,5 bis 3000 Hz bei maximaler Schwingkraft $F = 6.600 \text{ N}$ Schwingungssignale simulieren.

Zur Erzeugung von Sinusschwingungen diente ein an der externen Ansteuerung des Steuergerätes (Abbildung 14) angeschlossener Sinusgenerator (Fa. BECKMANN). Die Schwingungssimulation der in Feldversuchen gemessenen realen Maschinenschwingungen erfolgte ebenfalls über die externe Ansteuerung der Anlage. Der elektromagnetische Schwingungssimulator besitzt keine Linearität über der Frequenz. Deshalb mußte das vom Magnetband kommende Signal entsprechend dem Frequenzgang des Simulators verändert werden (Kapitel 4.1.3.).

Hierzu wurde ein Geräteaufbau vorgenommen, der in dem Blockschaltbild der Abbildung 7 zu sehen ist. Auf dem Magnetbandspeicher SABA MF 6 sind die realen Geräteschwingungen mit Meßzeiten zwischen 30 und 150 Sekunden gespeichert. Mit Hilfe eines Terzspektrumformers war es möglich, das Schwingungssignal durch entsprechende Filterung zu verändern. Über einen Spannungsverstärker ließ sich das Signal verstärken. Mit einem nachgeschalteten Tiefpaßfilter wurde der obere Frequenzbereich (1000 Hz) begrenzt.

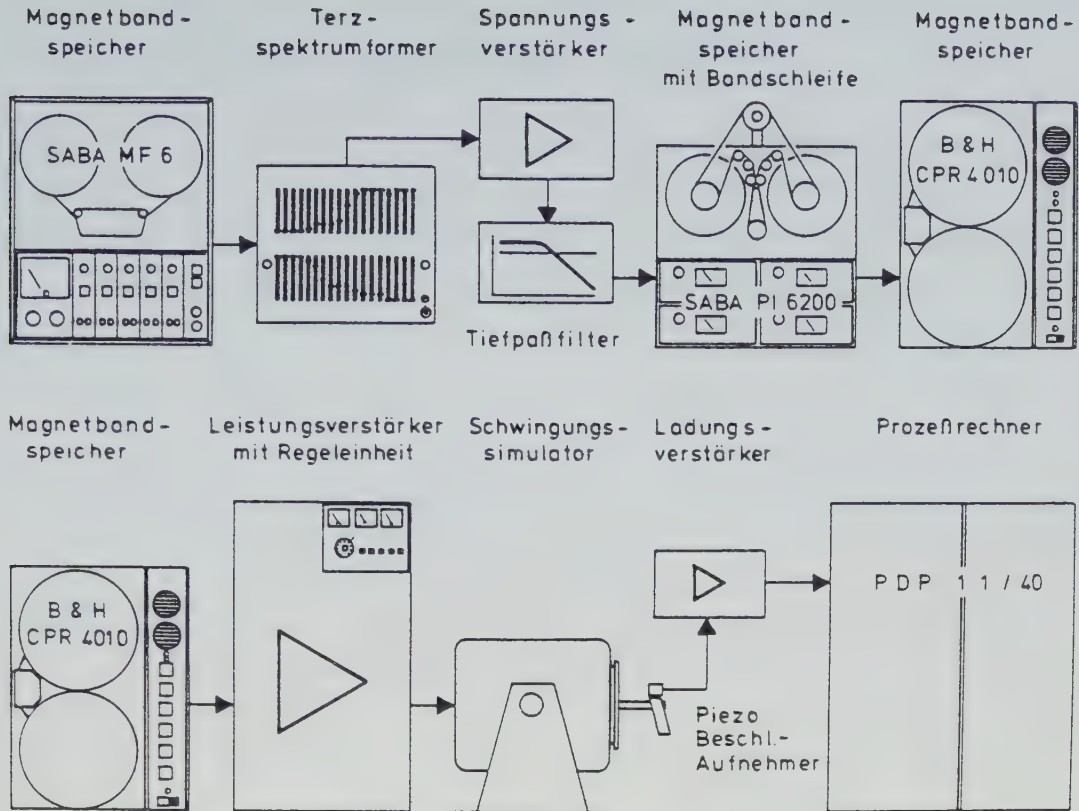


Abbildung 7: Blockschaltbild des Geräteaufbaues zur Schwingungssimulation von handgeführten Arbeitsmaschinen.

Zur Verlängerung der Simulationszeit erfolgte eine Vervielfachung des Steuersignales mit Hilfe einer Bandschleife auf dem Magnetbandspeicher SABA PI 6200. Schließlich konnte somit das Steuersignal in gewünschten Zeitdauern von max. 30 min. auf einem Magnetbandspeicher BELL & HOWELL CPR 4010 abgespeichert werden. Dieses diente für alle Versuche mit Geräteschwingungen zur Ansteuerung der Simulationsanlage über den Leistungsverstärker mit Regeleinheit.

Die simulierten Schwingungen wurden über einen Griff in das Hand-Arm-System der Versuchsperson eingeleitet. Zur Überprüfung dieser Schwingungen konnten am Handgriff die Schwingbeschleunigungen gemessen und einem Prozeßrechner PDP-11-40 zur Auswertung zugeführt werden, SCHÄFER, DUPUIS (1985).

4.1.3. Überprüfung der Schwingungssimulation (IST-Werte) mit den Feldversuchen (SOLL-Werte)

Um die Güte der Schwingungssimulation festzustellen, war eine Überprüfung der IST-Werte am Handgriff des Simulators im Vergleich zu den SOLL-Werten der Feldversuche erforderlich. Dazu dienten die folgenden schwingungstechnischen Kriterien:

- Schmalbandfrequenzspektren 8-1000 Hz
- Beschleunigungs-Zeitverläufe (0,5 s Ausschnitte)
- Ungewichtete Effektivwerte der Beschleunigung (m/sec^2)
- Bewertete Schwingstärke KZH

Tabelle 2: Schwingungsmerkmale der in die Untersuchung einbezogenen vibrierenden Handgeräte

Geräteart	K-Wert ^{+))}	Effektivwert ^{+))} (m/s^2)	Scheitelfaktor der unbew. Beschleunig. ^{+))} SF	Hauptfrequenz (Hz)
Elektr. Rundschleifmasch. SFM	36 (35)	54,8 (55,7)	2,2 (1,8)	180
Motorkettensäge MOS	51 ⁺⁺⁾ (52)	- (49,4)	- (2,2)	70/120
Elektr. Bohrhämmer BOH	43 (42)	44,1 (41,3)	3,1 (2,9)	20/56/112
Druckluft-Aufbruchhämmer ABH	53 (53)	18,0 (18,2)	8,3 (5,5)	16
Druckluft-Niethämmer NIH	40 (38)	50,4 (50,6)	9,9 (7,9)	28
Druckluft-Nagler NAG	48 (39)	29,5 (29,5)	10,2 (10,2)	2/70

^{+))} Zahlen ohne Klammern bezeichnen die Meßwerte der Feldversuche, Zahlen in Klammern die am Simulator erreichten Werte

⁺⁺⁾ nach WEICHENRIEDER (1977)

In den Abbildungen 8-13 sind für die im Abschnitt 4.1.1. genannten Gerätebauarten diese schwingungstechnischen Kriterien dargestellt:

Der Vergleich zwischen SOLL- und IST-Werten läßt erkennen, daß für die elektrische Rundschleifmaschine (SFM) sehr gute Übereinstimmungen bestehen. (Abbildung 8)

Bei dem Elektro-Bohrhammer (BOH) (Abbildung 9) stimmen Effektivwerte und K-Werte ebenfalls gut überein. Der Beschleunigungs-Zeitverlauf zeigt beim IST-Zustand etwas weniger Regelmäßigkeit mit etwas schwächerer Ausprägung der Einzelstöße. Aus den Frequenzspektren wird jedoch ersichtlich, daß die Schlagfrequenz (Spitze bei 56 Hz) sehr genau wiedergegeben wird.

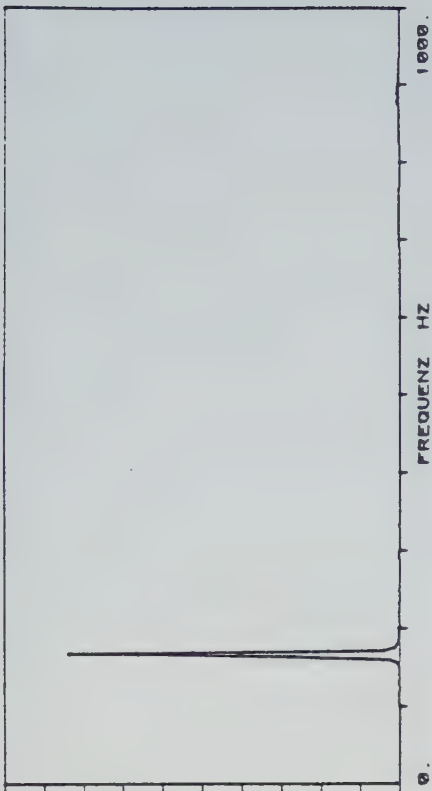
Bei den Diagrammen des Druckluft-Aufbruchhammers (ABH) (Abbildung 10) ist im IST-Zustand des Beschleunigungs-Zeitverlaufes die Schlagfrequenz zwar richtig simuliert, die Beschleunigungsamplitude jedoch unregelmäßiger und zum Teil verkleinert. Spektren, Effektivwerte und K-Werte zeigen jedoch gute Übereinstimmungen.

Beim Druckluft-Niethammer (NIH) (Abbildung 11) repräsentieren die IST-Werte im allgemeinen die SOLL-Werte sehr gut. Lediglich lassen sich nicht ganz so hohe Beschleunigungsspitzen in den Zeit-Verläufen des IST-Zustandes simulieren.

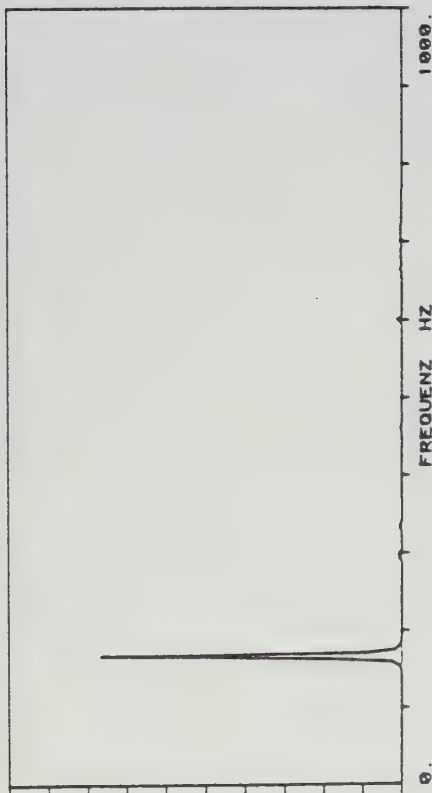
Der Druckluft-Nagler (NAG) (Abbildung 12) bereitete in der Simulation die vergleichsweise größten Probleme. Die Frequenz-Spektren stimmen relativ gut überein. Dagegen ließ sich in den Beschleunigungs-Zeitverläufen die steile Anstiegsflanke und das schnelle Ausschwingen jeden Stoßes nicht völlig simulieren. Vielmehr schwingt

der Simulator etwas länger nach. Während die Effektivwerte zwischen SOLL und IST sich praktisch decken, wird der SOLL-K-Wert in der Simulation nicht erreicht. Das ist darin begründet, daß sich niederfrequente Bewegungen beim Umsetzen des Gerätes in Verbindung mit großen Wegamplituden nicht voll simulieren lassen. Diese Umsetzbewegungen sind jedoch im Hinblick auf die zu untersuchende Stoßwirkung von untergeordnetem Interesse.

Für die Motorkettensäge mit Verbrennungskraftmotor (MOS) (Abbildung 13) war ein IST-SOLL-Vergleich nicht möglich, da für die Simulation keine Original-Schwingungsaufzeichnungen, sondern nur Frequenzspektren vorlagen. Abbildung 13 macht deutlich, daß keine ausgesprochene Stoßhaltigkeit vorliegt. Frequenzverteilung, Effektivwert der Beschleunigung und K-Wert entsprechen Meßwerten der Praxis, SCHÄFER, DUPUIS (1985).



EFF.-BESCHL. = 55.71 M/S² KZH = 34.0



EFF.-BESCHL. = 54.83 M/S² KZH = 35.94

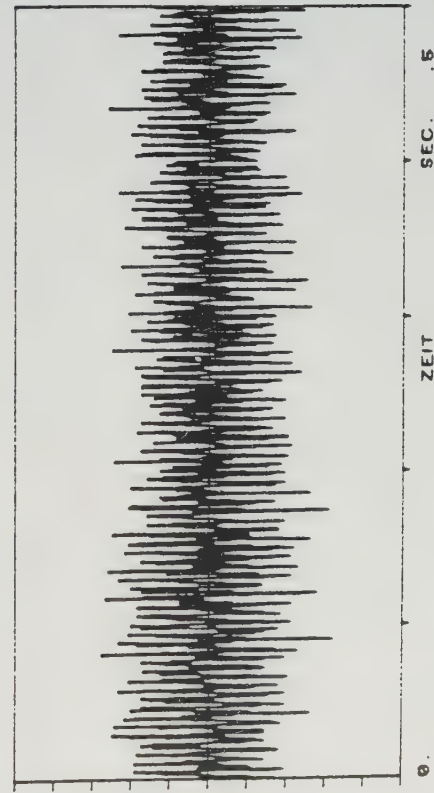
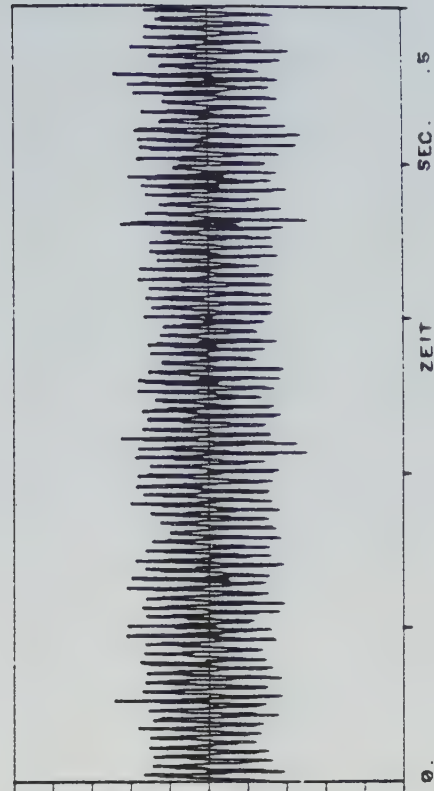
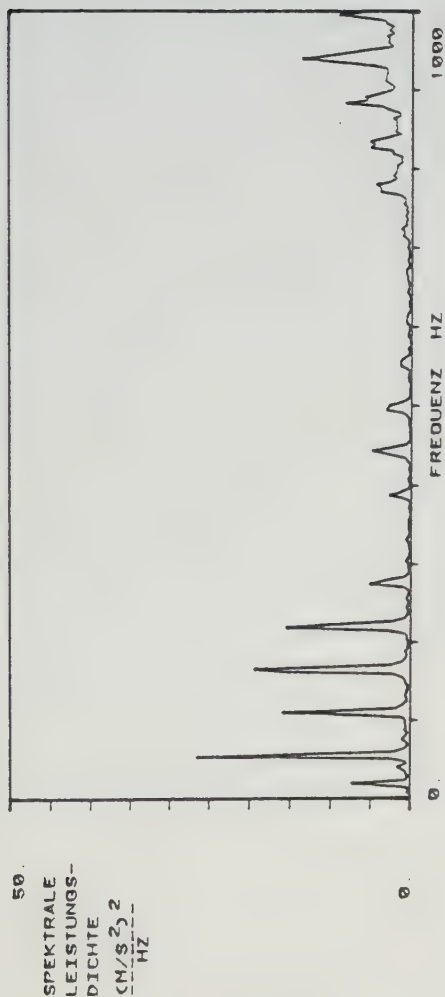


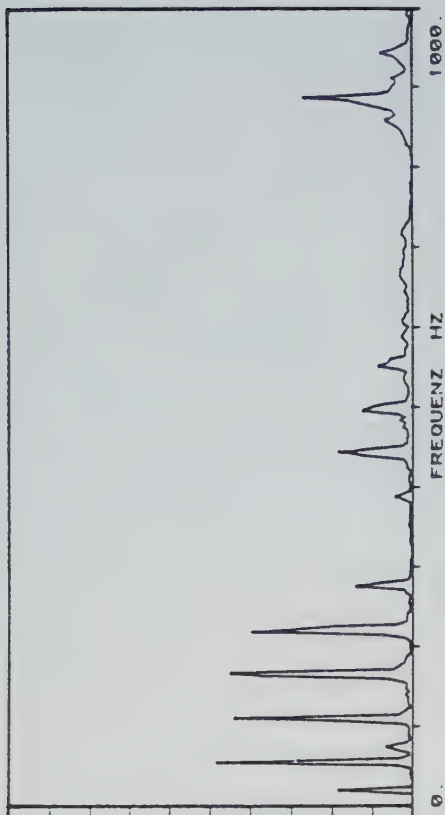
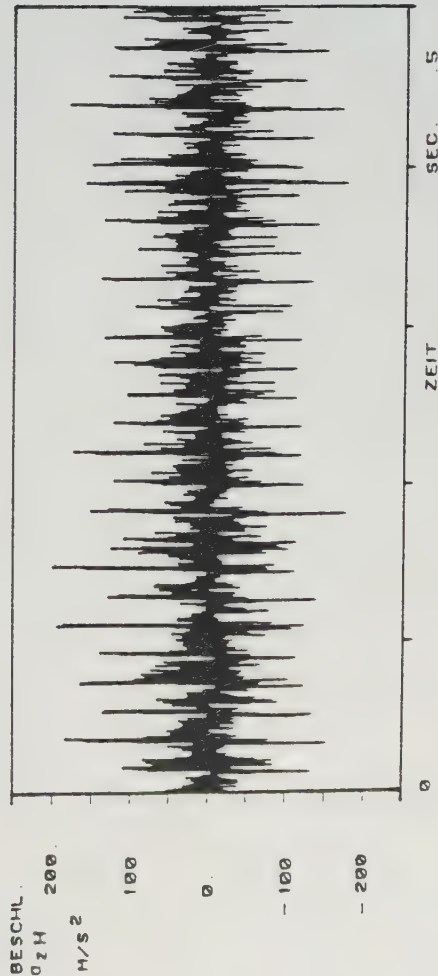
Abbildung 8: Schmalbandfrequenzspektren und Beschleunigungszeitverläufe
(Elektro-Rundschleifmaschine SFM)

SOLL (Feldversuch)

IST (Simulator)



EFF.-BESCHL. = 44.1 M/S² KZH = 42.97



EFF.-BESCHL. = 41.31 M/S² KZH = 41.71

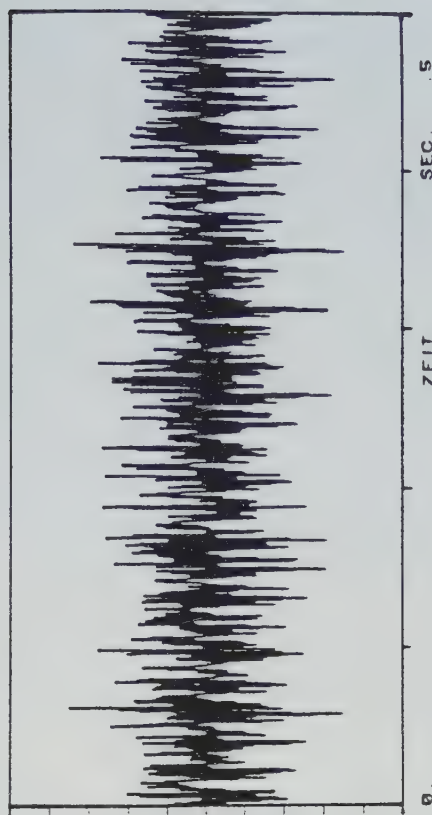


Abbildung 9: Schmalbandfrequenzspektren und Beschleunigungszeitverläufe
(Elektro-Bohrhammer BOH)

SOLL (Feldversuch)

IST (Simulator)

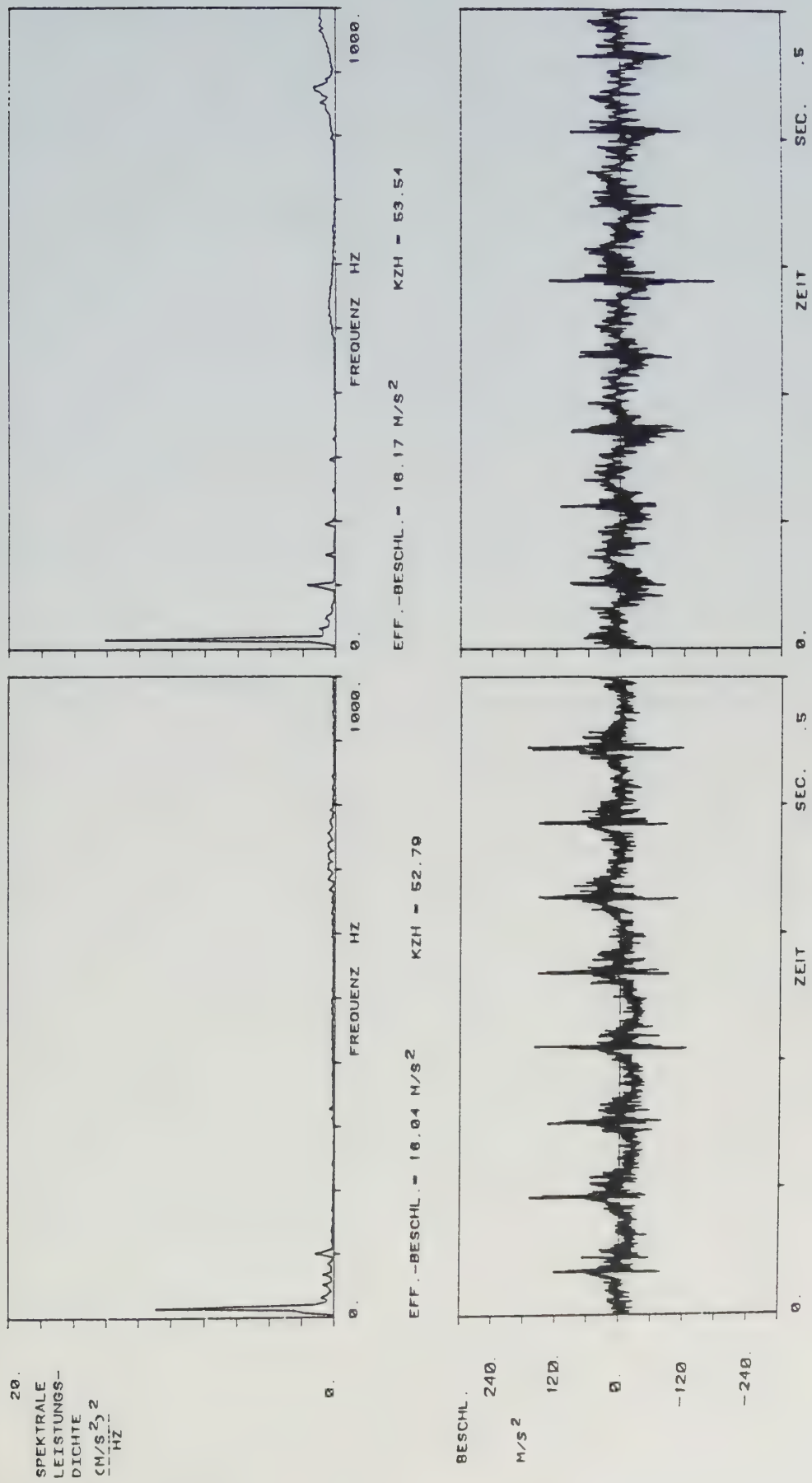
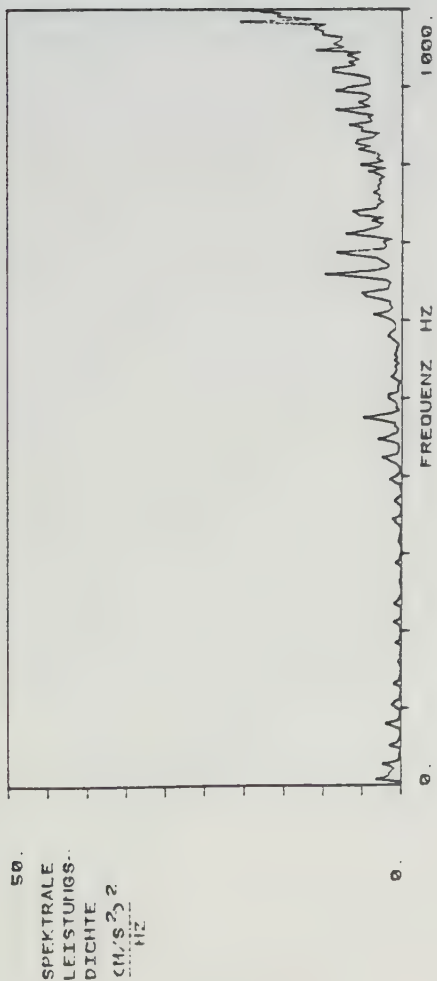


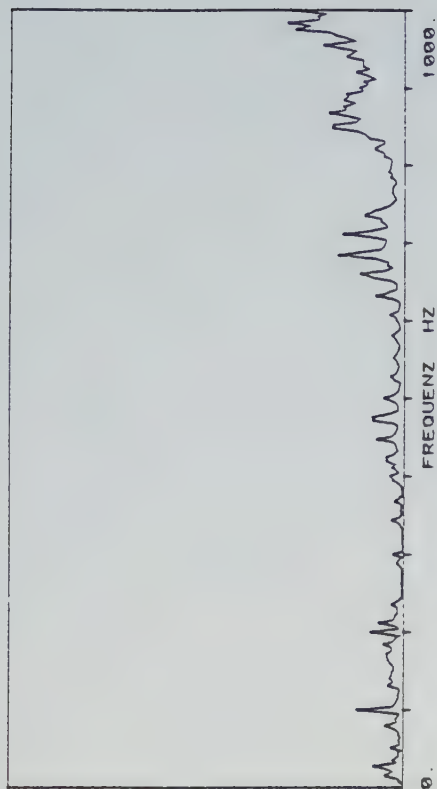
Abbildung 10: Schmalbandfrequenzspektren und Beschleunigungszeitverläufe
(Druckluft-Aufbruchhammer ABH)

SOLL (Feldversuch)



EFF.-BESCHL. = 50.42 M/S² KZH = 39.85

IST (Simulator)



EFF.-BESCHL. = 50.01 M/S² KZH = 37.90

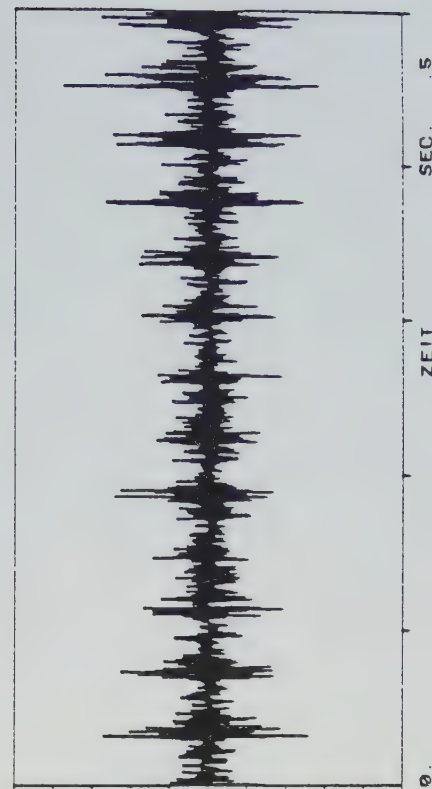
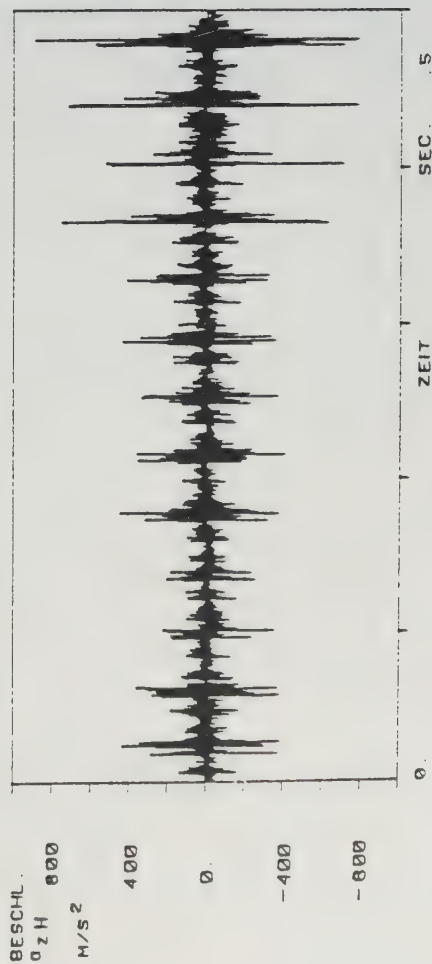
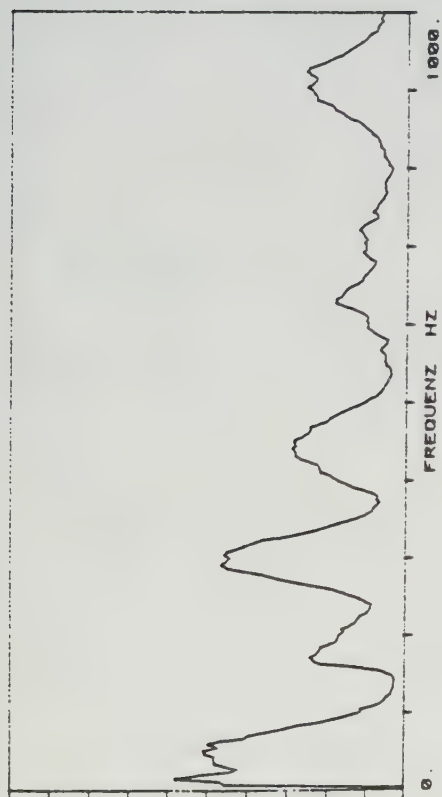


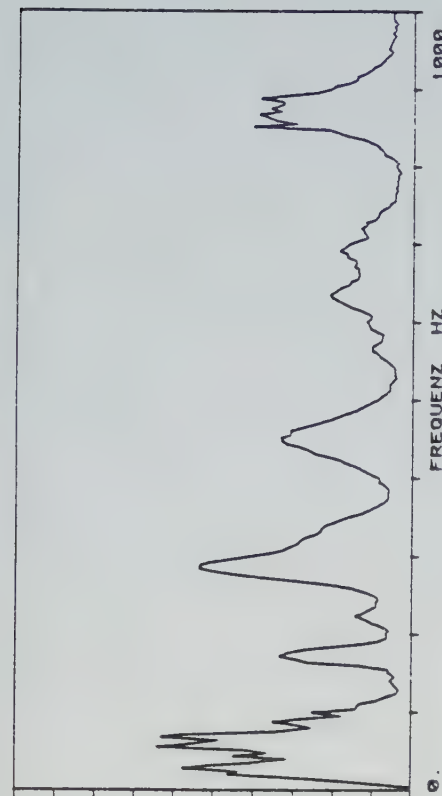
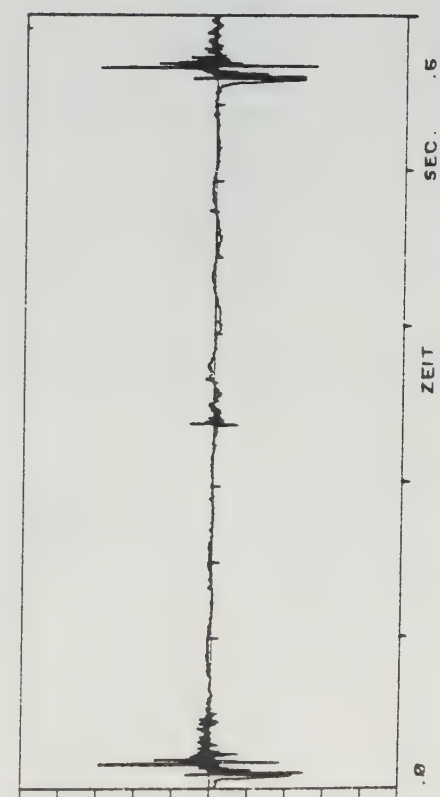
Abbildung 11: Schmalbandfrequenzspektren und Beschleunigungszeitverläufe
(Druckluft-Niethammer NIH)

5.
SPEKTRALE
LEISTUNGS-
DICHTE
 $\frac{\text{CM/S}^2}{\text{HZ}}$



EFF.-BESCHL. = 29.45 M/S² KZH = 47.6.1

BESCHL.
 $\frac{\text{CM}}{\text{S}^2}$



EFF.-BESCHL. = 29.5 M/S² KZH = 39.0.4

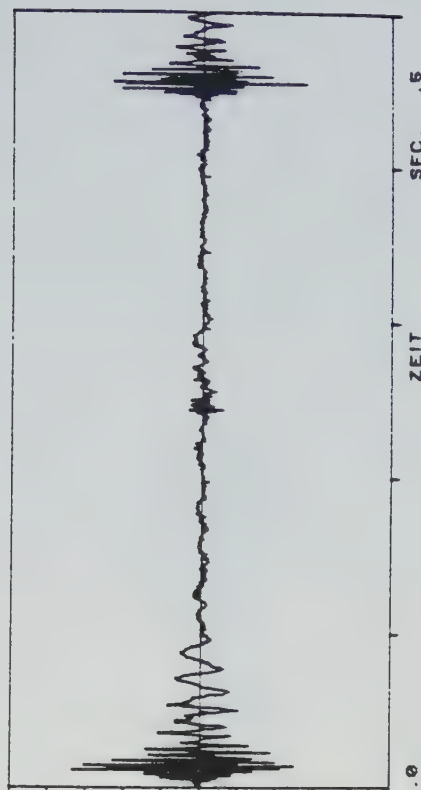


Abbildung 12: Schmalbandfrequenzspektren und Beschleunigungszeitverläufe
(Druckluft-Nagler NAG)

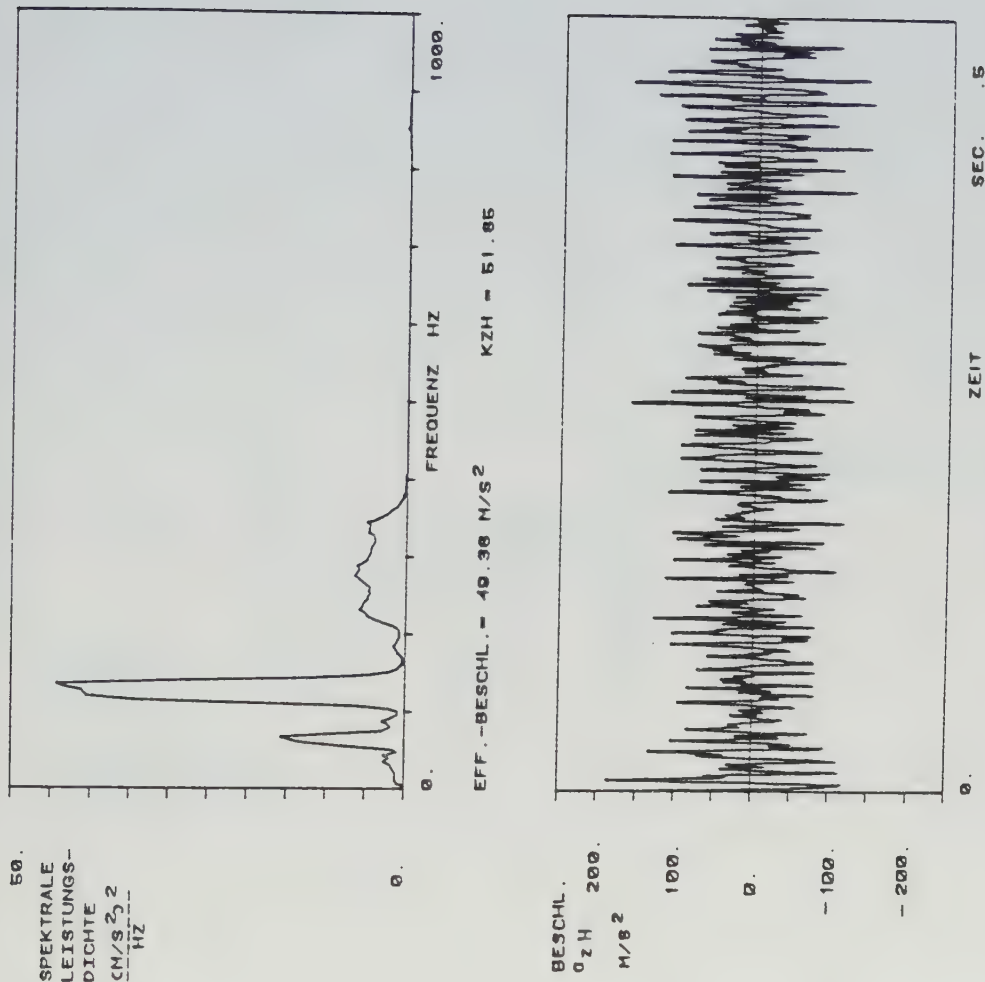


Abbildung 13: Schmalbandfrequenzspektren und Beschleunigungszeitverläufe
(Motorkettensäge MOS)

4.2. Methodik

4.2.1. Versuchsaufbau

Der Versuchsaufbau zur Durchführung der verschiedenen Versuchsreihen ist in Abbildung 14 durch eine Querschnittsskizze dargestellt. Der eigentliche Schwingungserreger (1) mit horizontal ausgerichteter Schwingachse ist auf einem Stahlrahmenpodest (2) fixiert. Hierdurch wird für die Versuchsperson bei sitzender Körperposition die geeignete Griffhöhe erreicht. Sitzhaltung wurde gewählt, um während der Versuche eine weitgehend konstante Oberkörper- und Armhaltung zu gewährleisten. Die zum Betrieb des Schwingerregers erforderliche Leistung wurde in einem wassergekühlten Steuergerät (Ling DS TPO 3K) erzeugt (4). Die

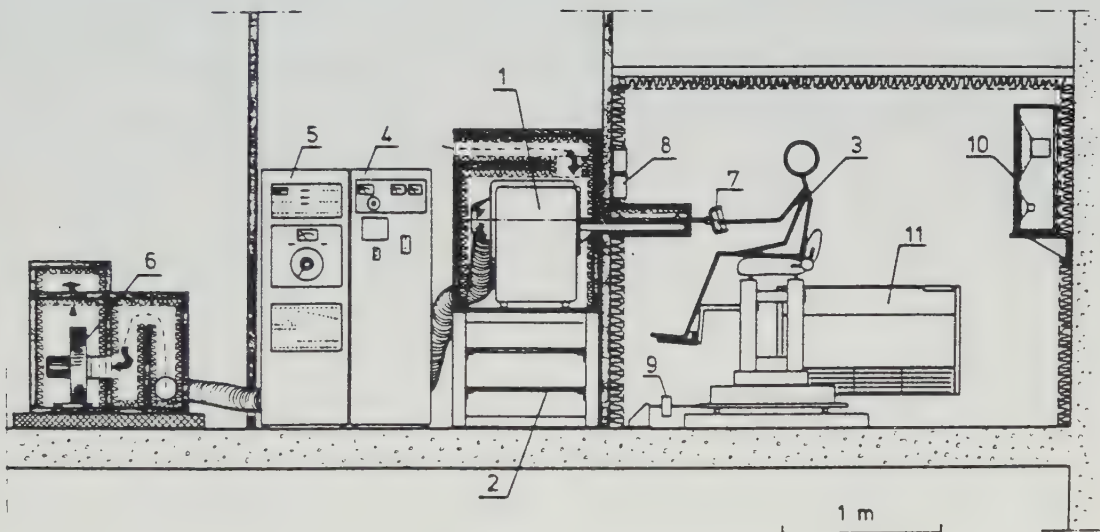


Abbildung 14: Querschnittsskizze des Versuchsaufbaues.

1 = Schwingungserreger, 2 = Stahlrahmenpodest, 3 = Versuchsperson, 4 = Steuergerät, 5 = Signal-, Regel- und Meßgeräte, 6 = Kühl- und Meßgeräte, 7 = vibrierender Handgriff, 8 = Kraft-Anzeigeelemente, 9 = Kraftmeßdose, 10 = Lautsprecher, 11 = Gerät zur Temperaturkonstanthaltung

Verbindung zwischen dem horizontal schwingenden Simulator und dem Handgriff wird durch eine in Längskugellagern geführte Koppelstange von 90 cm Länge hergestellt. Der aus Vierkantrohr konstruierte Lagerträger ist unmittelbar mit dem Spulengehäuse des Schwingerregers in drei Punkten verschraubt und justiert, da die elektromagnetische Schwingspule nur geringe Querkräfte zuläßt, SCHÄFER (1984).

Alle Versuche sollten bei einer Raumtemperatur von etwa 22° C erfolgen. Um dies zu gewährleisten, mußte besonders für die Sommermonate ein Klimagerät (Firma BAUKNECHT) installiert werden.

Ein Teil der Versuche wurde unter zusätzlicher Lärmbelastung durchgeführt. Hierzu diente das Geräusch einer Motorsäge der Firma STIHL (Typ 028 AVEQ) beim Sägen mit einem Lärmpegel am Ohr der Versuchsperson von etwa 95 dB(A). Die Wiedergabe des Motorsägeneräusches erfolgte über folgende Geräte: UHER Tonband (Typ 4200) Report Stereo IC, Vorverstärker DYNACORD (Typ SME 1000), Endverstärker TELEWATT (Typ Stereoblock SB 280), 2 Lautsprecherboxen vom Typ DUAL CL 190.

Die periphere Durchblutung wird in starkem Maße durch statische Haltearbeit beeinflusst. Zur Erfassung der Greifkraft diente eine verformbare, halbzylinderförmige Schale zwischen Handfläche und Griff, auf welche Dehnmeßstreifen aufgeklebt sind (Abbildung 15). Die Andruckkraft wurde über eine induktive Kraftmeßdose (HOTTINGER, Typ Q2, 1.000 N) erfaßt. Diese war zwischen der rollengelagerten Befestigungsplattform für den Sitz und dem Fußboden montiert (Abbildung 16). Jede Andruckkraft gegen den Griff konnte so als Reaktionskraft gemessen werden. Die Signale wurden in einem Meßverstärker (HOTTINGER-BALDWIN-MESSTECHNIK) verarbeitet und zu den

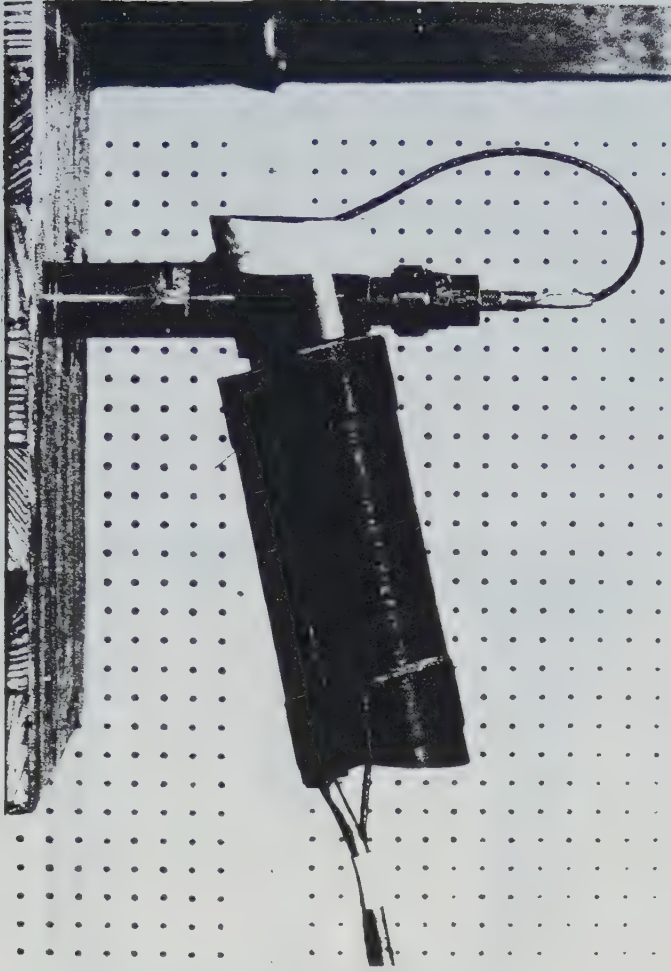


Abbildung 15: Handgriff am Schwingungssimulator mit Aufnehmer zur Messung der Greifkraft und der Beschleunigung

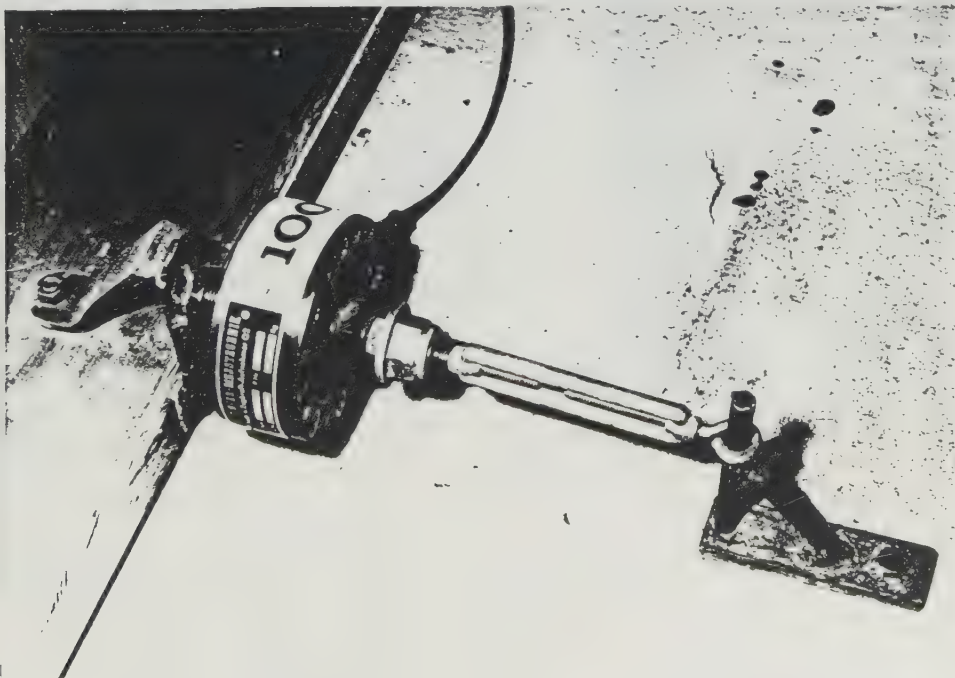


Abbildung 16: Kraftmeßdose zur Erfassung der Andruckkraft

jeweiligen Anzeigeinstrumenten (Abbildung 17) weitergeleitet, die in Augenhöhe gegenüber der Versuchsperson angebracht waren. Diese konnte somit selbständig die Einhaltung der vorgegebenen Greif- und Andruckkraft kontrollieren.

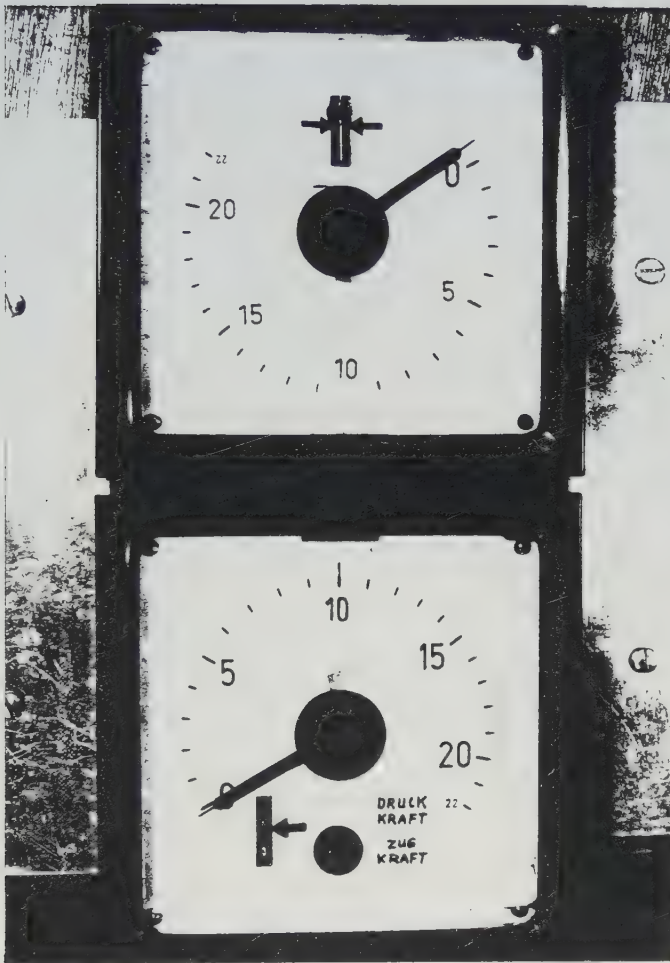


Abbildung 17: Anzeigeinstrumente zur Kontrolle der Greifkraft (oben) und Andruckkraft (unten)

4.2.2. Meßverfahren zur Erfassung der Hauttemperatur und der Fingerpulsamplitude

Die Hauttemperatur ist nach KLOSTERKÖTTER (1974) ein relativ gutes Maß zur Erfassung der peripheren Durchblutung. Zur Temperaturmessung wurden an den Fingern R II, R III, R IV und R V der schwingungsexponierten rechten Hand im Bereich der Fingerbeeren Temperaturmeßfühler mit einer speziellen Klebefolie Opsite (Fa. Braun-Dexon) befestigt. An der unbelasteten linken Hand wurde die Temperatur am Finger L IV auf die gleiche Weise gemessen (Abbildung 18). Die Temperaturmeßfühler waren mit einem digitalen Anzeigegerät der Firma TTW INDUSTRIE und MEDIZINMESSTECHNIK verbunden.

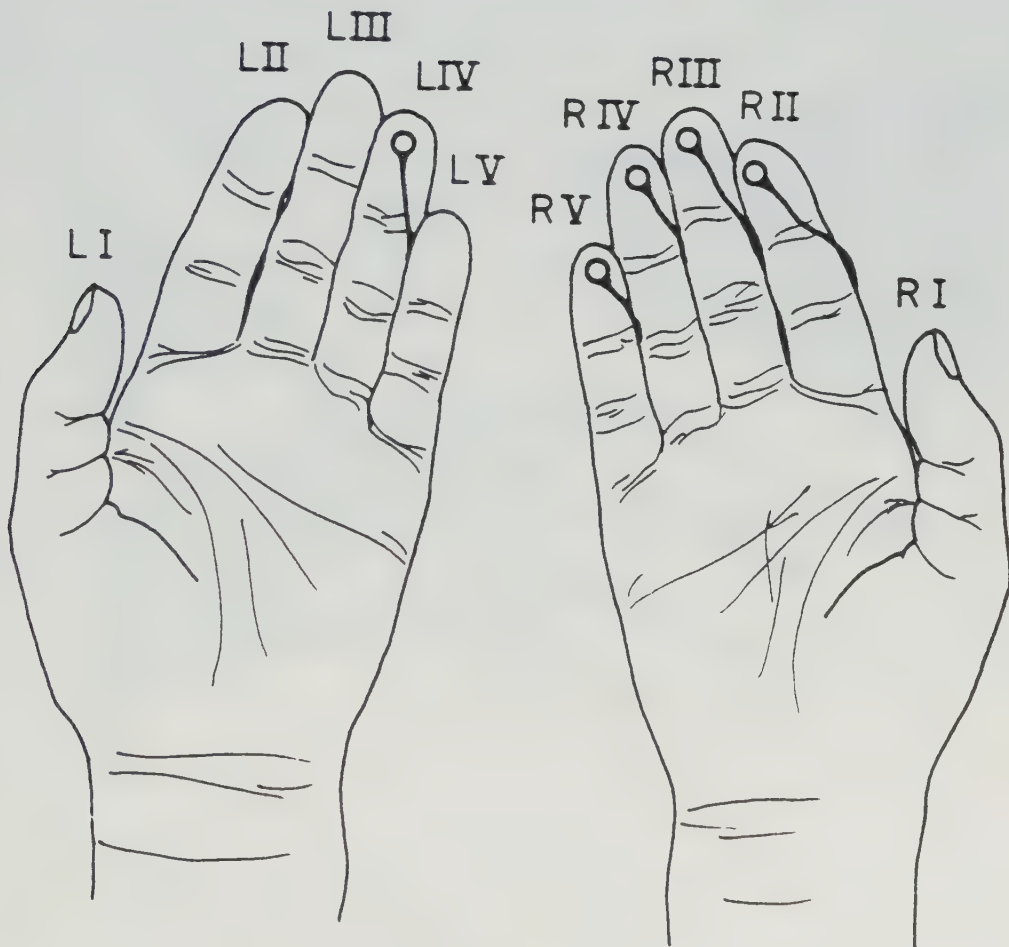


Abbildung 18: Temperaturmeßfühler an der rechten und linken Hand

Ein weiteres Verfahren zur Bestimmung der peripheren Durchblutung ist nach JANSEN und THUTEWOHL (1968) die Messung der Fingerpulsamplitude (Plethysmographie). Mit einem speziellen Meßwertaufnehmer läßt sich die Volumenänderung der Fingerbeere registrieren. Die Amplitude des Fingervolumenpulses ist dabei ein Maß für die Durchblutungsstärke. Da diese Meßmethode sehr bewegungsempfindlich ist, konnte der Aufnehmer nur an der Fingerbeere des Zeigefingers (L II) der nicht schwingungs-exponierten linken Hand befestigt werden, (Abbildung 19). Die weitere Signalverarbeitung erfolgte mit einem Trägerfrequenz-Meßverstärker der Firma HOTTINGER-BALDWIN-MESSTECHNIK. Ein Pegelschreiber der Firma SCHWARZER diente zur Aufzeichnung der Fingerpulsamplitude.



Abbildung 19: Fingerpulsaufnehmer (oben) und Temperaturmeßfühler (unten) an der nicht schwingungs-exponierten linken Hand

4.2.3. Versuchspersonen

An den Versuchen nahmen 10 männliche Versuchspersonen im Alter von 22-33 Jahren teil. Sie hatten bisher keinen beruflichen Kontakt mit Vibrationswerkzeugen oder starkem Lärm. Das Hörvermögen wurde stichprobenweise mit Hilfe eines Audiometers Fa. SIEMENS (Atlas-Audiotest GI) überprüft. Eine Befragung ergab weiterhin, daß keine der Versuchspersonen Medikamente einnahm. Wegen der komplexen Wirkung von Coffein, Theophyllin und Nikotin auf die peripheren Gefäße mußten sich die Probanden bereiterklären, in den Versuchspausen auf Kaffee, Tee oder Zigaretten zu verzichten.

4.2.4. Versuchsdurchführung

Nach JANSEN und THUTEWOHL (1968) kann die periphere Durchblutung auch durch Lärm beeinflußt werden. Daher mußte zu Beginn der Versuchsreihen der durch die Schwingungssimulationsanlage erzeugte Geräuschpegel überprüft werden. Messungen ergaben, daß bei den Sinusschwingungen Geräuschpegel von 40 bis 51 dB (A), bei den Geräteschwingungen Geräuschpegel von 54 bis 63 dB (A) auftraten. Eine Beeinträchtigung der peripheren Durchblutung durch die Störgeräusche des Simulators bis maximal 63 dB (A) ist nach dem bisherigen Wissensstand nicht anzunehmen, SCHÄFER, DUPUIS (1985).

Wegen des bedeutenden Einflusses von statischer Haltearbeit auf die Fingerdurchblutung ESS (1982) wurde weiterhin regelmäßig die Anzeige der Kontrollinstrumente (Abbildung 17) mit Hilfe eines geeigneten Kraftmessers kontrolliert.

Nachdem die Meßfühler an den Fingern befestigt waren, nahm die Versuchsperson die vorgeschriebene Sitzhaltung ein, wobei nach Umfassen des Handgriffs mit der rechten Hand eine festgelegte Beugung im Ellenbogengelenk erfolgen

sollte (120° Ellenbogenwinkel). Ferner wurde die Raumtemperatur überprüft, die durch den Thermostat der Klimaanlage auf 22° C eingestellt war.

Vor Versuchsbeginn wurde der Versuchsperson für mindestens 15 Minuten Gelegenheit zur physischen und psychischen Entspannung gegeben. Während dieser Zeit konnte die Fingerkuppentemperatur überprüft werden. Um einen Einfluß durch ein unterschiedliches Temperaturniveau auszuschließen, sollte bei Versuchsbeginn die Fingerkuppentemperatur über 30° C liegen, BOLLINGER (1979). Andernfalls konnte mit dem Versuch nicht begonnen werden.

Der zeitliche Versuchsablauf gestaltete sich folgendermaßen:

- a) Während der ersten beiden Minuten saß die Versuchsperson völlig entspannt auf dem Sitz. Die linke Hand lag dabei auf der Armlehne des Sitzes, wobei der Zeigefinger mit dem Fingerpulsaufnehmer frei an der Vorderseite der Handablagefläche herunterhing. Die rechte Hand ruhte in dieser Versuchsphase auf dem Oberschenkel des Beines.
- b) Von der 3. bis 7. Minute sollte die Versuchsperson den Handgriff umfassen, ohne jedoch eine Greif- oder Andruckkraft auszuüben, um die Griff- oder Handtemperatur anzugleichen (Abbildung 20).
- c) Die 8. bis 15. Minute stellte die eigentliche Belastungsphase dar. Hier hatte die Versuchsperson die Aufgabe, die vorgegebene Greifkraft von 25 N und die Andruckkraft von 50 N aufzubringen, was sie über die jeweiligen Anzeigeinstrumente überprüfen konnte. Gleichzeitig wurde das Hand-Arm-System der jeweiligen Schwingungsbelastung ausgesetzt. Bei Versuchen mit zusätzlicher Lärmbelastung erfolgte die Lärmdarbietung ebenfalls in diesem Versuchsabschnitt.



Abbildung 20: Position der rechten Hand an dem Handgriff, über den während der Belastungsphase die Schwingungen in das Hand-Arm-System eingeleitet wurden.

- d) Von der 16. bis zur 25. Minute schloß sich eine Ruheperiode an, während der die rechte Hand wie bei b) den Handgriff ohne Kraftausübung umfaßte.

Während der gesamten Versuchsdauer hatte der Versuchsleiter die Aufgabe, zu jeder vollen Minute die Fingerkuppentemperaturwerte abzulesen und in ein Meßprotokoll einzutragen. Außerdem war die ordnungsgemäße Mitschrift der Fingerpulskurve zu kontrollieren. Neben der Bedienung und Kontrolle der zur Schwingungs- bzw. Lärmdarbietung notwendigen Geräte waren weiterhin die von der Versuchsperson aufgebrauchten Greif- und Andruckkräfte zu überprüfen.

4.2.5. Auswerteverfahren

Zur Eliminierung von intra- und interindividuellen Streuungen wurden die Meßdaten eines jeden Versuchs auf den jeweiligen Meßwert vor der Belastung durch statische Haltearbeit und Schwingungen bezogen, d. h. die Bezugsgröße war der Meßwert der 7. Minute.

Mit dieser Methode wurde aus den gemessenen Temperaturwerten die Veränderung der Fingerkuppentemperatur Δ FKT berechnet. Anschließend konnten für jeden Versuch die Ergebnisse aller 10 Versuchspersonen durch arithmetische Mittelwertbildung zusammengefaßt werden. Die statistische Überprüfung der Mittelwerte auf signifikante Unterschiede wurde mit dem t-Test für abhängige Stichproben unter zweiseitiger Fragestellung auf dem 5 % und 1 % Signifikanzniveau durchgeführt, CLAUSS, EBNER (1975).

Die Auswertung der Fingerpulskurven erfolgte in ähnlicher Weise. Zunächst mußten aus den Meßschrieben die Fingerpulsamplituden ermittelt werden. Danach erfolgte die Berechnung der prozentualen Veränderung des Fingerpulses gegenüber dem 7. Minutenwert (= 100 %). Durch Mittelwertbildung konnten für jeden Versuch die Ergebnisse aller 10 Versuchspersonen zusammengefaßt werden. Die statistische Überprüfung erfolgte ebenfalls mit dem t-Test für abhängige Stichproben unter zweiseitiger Fragestellung auf dem 5 % und 1 % Signifikanzniveau, CLAUSS, EBNER (1975).

4.3. Versuchsreihen

Entsprechend der in Abschnitt 2. beschriebenen Aufgabenstellung wurden die in Tabelle 3 aufgeführten Versuchsvariationen durchgeführt:

Tabelle 3: Versuchsvariationen der Schwingungsbelastung¹⁾

SFM _{K40} + Lärm ²⁾	-	SFM _{K40}	-	SIN 180 _{K40}
MOS _{K40} + Lärm	-	MOS _{K40}	-	SIN 120 _{K40}
BOH _{K40} + Lärm	-	BOH _{K40}	-	SIN 56 _{K40}
ABH _{K40} + Lärm	-	ABH _{K40}	-	SIN 16 _{K40}
NIH _{K40} + Lärm	-	NIH _{K40}	-	SIN 28 _{K40}
NAG _{K40} + Lärm	-	NAG _{K40}	-	SIN 70 _{K40}
²⁾ Motorsägengeräusch 95 dB (A)				

¹⁾ Kurzbezeichnungen:

SIN = Sinusversuche, z.B. SIN 180 = Sinus 180 Hz

SFM = Elektrische Rund-Schleifmaschine

MOS = Motorkettensäge

BOH = Elektrischer Bohrhammer

ABH = Druckluft-Aufbruchhammer

NIH = Druckluft-Niethammer

NAG = Druckluft-Nagler

Index-Zahlen: Sie bezeichnen den K-Wert der Schwingungsbelastung, z.B. SFM_{K40} = Schleifmaschine mit K = 40

4.3.1. Vergleich von Geräteschwingungen unterschiedlicher Stoßhaltigkeit mit Sinusschwingungen der jeweiligen Arbeitsfrequenz (I)

Diese Versuchsreihe diente dem direkten Vergleich von Geräteschwingungen mit denjenigen Sinusschwingungen, die der vorwiegend bei dem betreffenden Gerät vorkommenden Frequenz (Hauptarbeitsfrequenz) entsprachen. Es sollte jeweils der Einfluß auf die Fingerkuppentemperatur FKT und die Fingerpulsamplitude FPA gemessen werden. Aus Vergleichsgründen wurden alle Versuche mit einem K-Wert von 40 durchgeführt, der ungefähr der Größenordnung der K-Werte der Geräteschwingungen in den Feldversuchen nach Tabelle 2 entspricht. Eine Belastung durch Schwingungen mit $K=40$ entspricht nach VDI 2057 Blatt 3 (1979) für die Richtwertkurve einer täglichen Exposition von etwa 1,5 Stunden. In der beruflichen Praxis dürfte diese Expositionsdauer für einige Gerätegruppen typisch sein, für andere überschritten werden, SCHÄFER, DUPUIS (1985).

4.3.2. Vergleich von Geräteschwingungen unterschiedlicher Stoßhaltigkeit (II)

Hier wurde der Frage nachgegangen, wie sich die unterschiedlich stoßhaltigen Maschinenschwingungen - ausgedrückt durch den Scheitelfaktor der unbewerteten Beschleunigung (Tabelle 2) - bei konstanter bewerteter Schwingstärke K auf die periphere Durchblutung auswirken.

4.3.3. Vergleich von Geräteschwingungen bei zusätzlicher Lärmbelastung (III)

Die Arbeit mit handgeführten vibrierenden Geräten ist nahezu immer mit Lärm verbunden. Aus der Literatur ist

bekannt (Abschnitt 3.1.2.), daß Lärmbelastung zur Konstriktion peripherer Gefäße führt. Mit dieser Versuchsreihe sollte deshalb die gemeinsame Wirkung von mehr oder weniger stoßhaltigen Schwingungen und Lärm (95 dB (A)) auf Fingerkuppentemperatur und Fingerpulsamplitude untersucht werden. Als Variationen der Schwingungsbelastung wurden die bekannten Geräteschwingungen SFM_{K40} , MOS_{K40} , BOH_{K40} , ABH_{K40} , NIH_{K40} und NAG_{K40} gewählt.

Weiterhin wurden mit jeder Versuchsperson zwei Versuche unter alleiniger Belastung mit statischer Haltearbeit durchgeführt. Außerdem war ein Einzelversuch mit zusätzlicher Lärmbelastung zu absolvieren.

Der Proband hatte in allen Versuchsreihen während der 8-minütigen Belastungsphase eine Greifkraft von 25 N sowie eine Andruckkraft von 50 N aufzubringen. Die verschiedenen Versuche von je 25-minütiger Dauer wurden in beliebiger Reihenfolge innerhalb von drei Tagen durchgeführt.

4.4. Sonderversuchsreihen

4.4.1. Einfluß statischer Haltearbeit (I)

Nach DUPUIS et al. (1976a) verursacht bereits die alleinige Ausübung einer statischen Haltearbeit - als Greifkraft der Hände und als Andruckkraft der Arme - eine Reduktion der peripheren Durchblutung. Mit einer Sonderversuchsreihe sollte der Einfluß der Greifkraft auf die periphere Durchblutung durch Messung der Fingerkuppentemperatur FKT an der rechten Hand untersucht werden. Der Versuchsaufbau sowie der Versuchsablauf blieben unverändert. Lediglich die Belastungsphase wurde dahingehend verändert, daß

statische Greifkräfte von 5, 15 und 25 N ohne Andruckkraft auszuüben waren, deren Einfluß mit und ohne zusätzliche Motorsägenschwingungen ($K = 40$) untersucht wurden. An den Versuchen nahmen insgesamt 7 Versuchspersonen teil.

4.4.2. Arbeit mit einem Elektro-Bohrhammer unter praxisnahen Arbeitsbedingungen (II)

Mit dieser Sonderversuchsreihe sollten Fingerkuppentemperaturwerte unter realistischen Einsatzbedingungen erfaßt werden. Als Arbeitsgerät wurde ein Bohrhammer der Firma BOSCH Typ UBH G/35D ausgewählt. Mit diesem Gerät waren im Freien bei Lufttemperaturen zwischen 19 und 21° C in einen Betonklotz waagrechte Löcher von 16 mm Durchmesser zu bohren. Der zeitliche Versuchsablauf blieb auch hier unverändert. Im Gegensatz zu den Laborversuchen mußte die Versuchsperson beim Hammerbohren unter praxisnahen Arbeitsbedingungen die Gerätegriffe mit beiden Händen umfassen. Die Versuche wurden bei stehender Körperhaltung durchgeführt. Während des Versuches war im Minutenabstand die Temperatur von den Fingern R II, R III, R IV, R V und L IV zu messen und in ein Meßprotokoll einzutragen. An den Versuchen nahmen insgesamt 7 Versuchspersonen teil.

4.5. Ergebnisse

4.5.1. Verlauf der Fingerkuppentemperatur FKT unter statischer Haltearbeit und Bohrhammerschwingungen bei 10 Versuchspersonen

In der Abbildung 21 sind beispielhaft von allen 10 Versuchspersonen die absoluten Temperaturwerte des Fingers R IV bei Belastung durch die simulierten Bohrhammerschwingungen dargestellt. In der Regel ergab sich, daß nach der zweiminütigen Ruhepause durch das Umfassen des Griffes die Fingerkuppentemperatur zunächst leicht absank. Dann zeigte sich bei fünf Versuchspersonen nach erfolgter "Griffanwärmung" wieder ein leichter Temperaturanstieg, bei 5 Versuchspersonen ein weiterer Abfall. Infolge der statischen Haltearbeit und gleichzeitiger Schwingungsbelastung kam es nach der 7. Minute zu einem deutlichen Temperaturabfall. Nach der

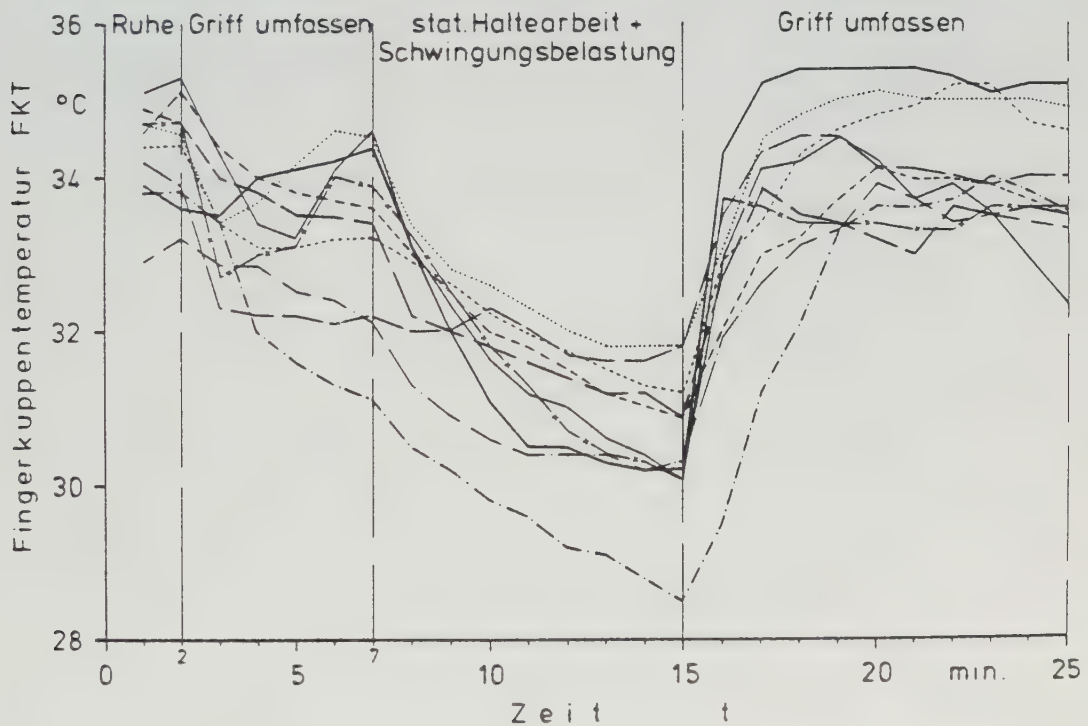


Abbildung 21: Fingerkuppentemperaturverlauf FKT des Fingers R IV unter statischer Haltearbeit und Bohrhammerschwingungen bei 10 Versuchspersonen

Belastungsperiode (15. Minute) stieg die Fingerkuppentemperatur rasch an und lag häufig über der Temperatur vor Belastungsbeginn (7. Minute).

4.5.2. Versuchsreihe I

Die Auswertergebnisse für die Temperaturmessungen sind für jeden Finger getrennt in den Abbildungen 22 bis 26 enthalten. Für jede Belastungsvariante sind der Mittelwert aus zehn Versuchen - entsprechend den zehn Versuchspersonen - sowie die Standardabweichung der Fingerkuppentemperaturdifferenz Δ FKT, die aus dem Meßwert vor (7. Minute) und am Ende (15. Minute) der Belastung durch statische Haltearbeit und Schwingungen berechnet wurde, dargestellt.

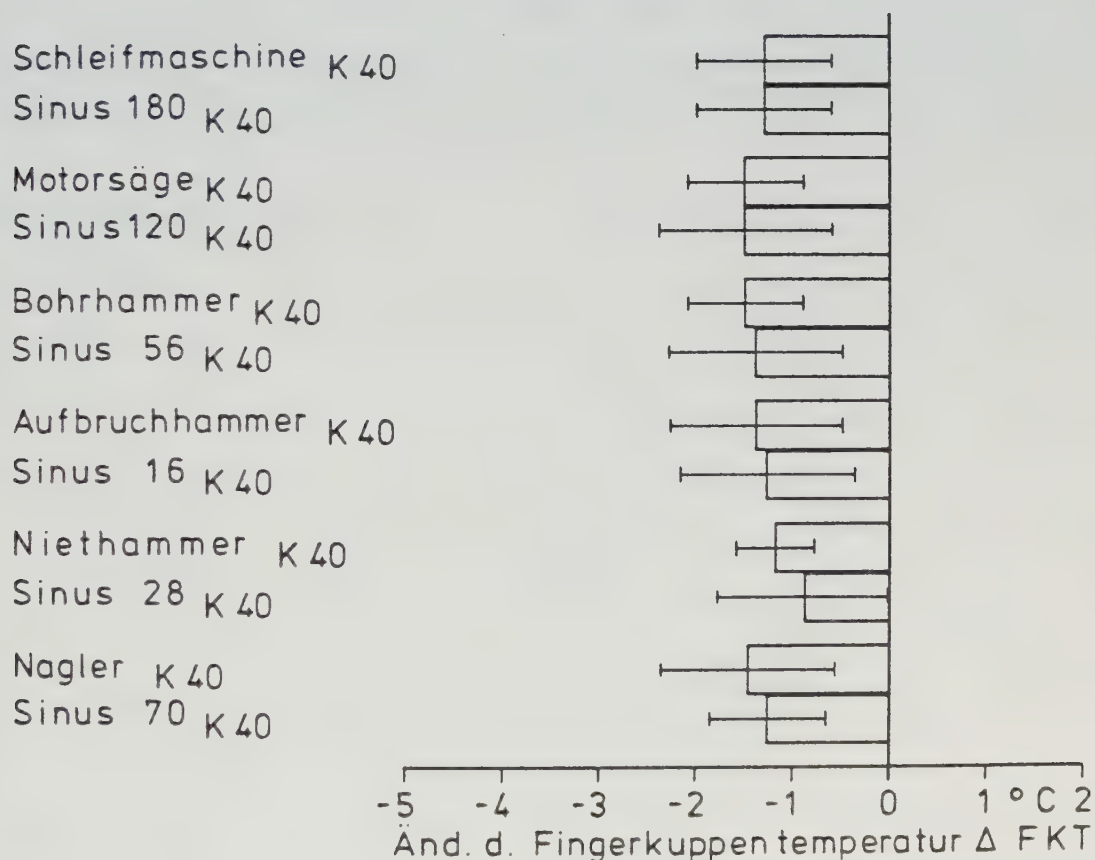


Abbildung 22: Veränderung der Fingerkuppentemperatur Δ FKT des Fingers R II infolge einer 8-minütigen Belastung durch statische Haltearbeit und Schwingungen

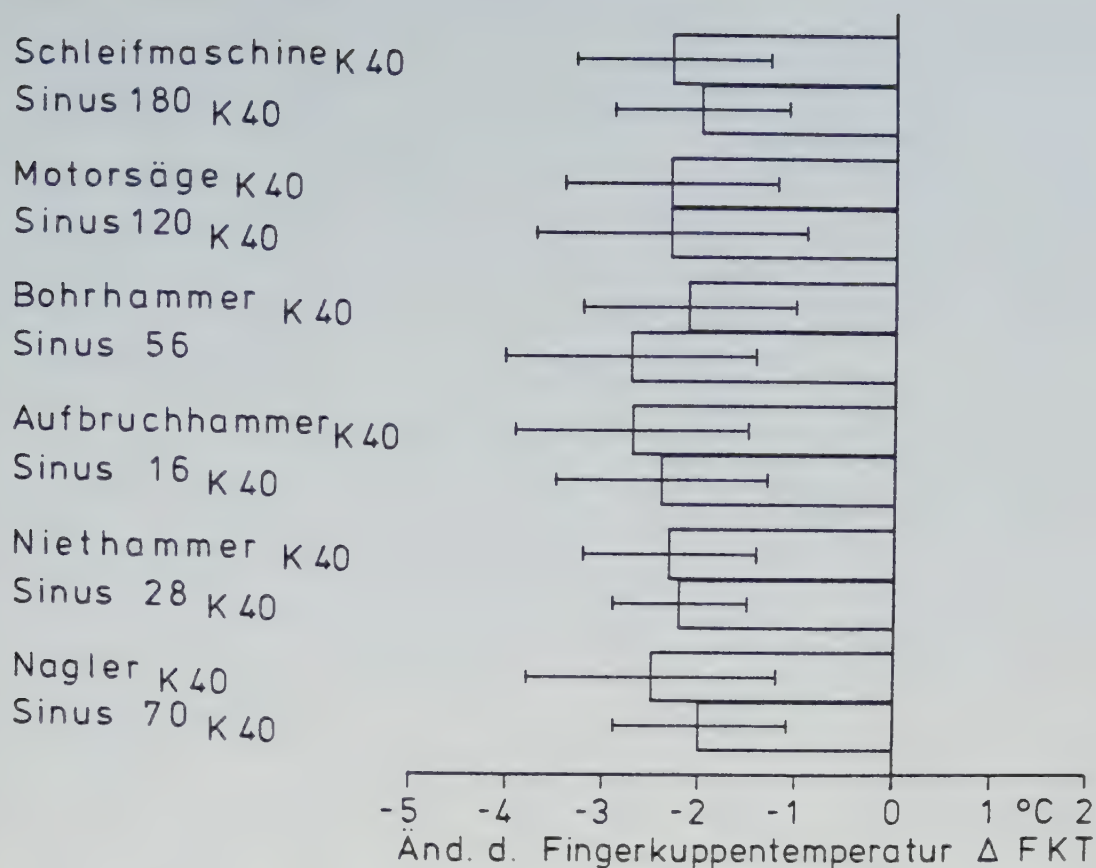


Abbildung 23: Veränderung der Fingerkuppentemperatur Δ FKT des Fingers R III infolge einer 8-minütigen Belastung durch statische Haltearbeit und Schwingungen

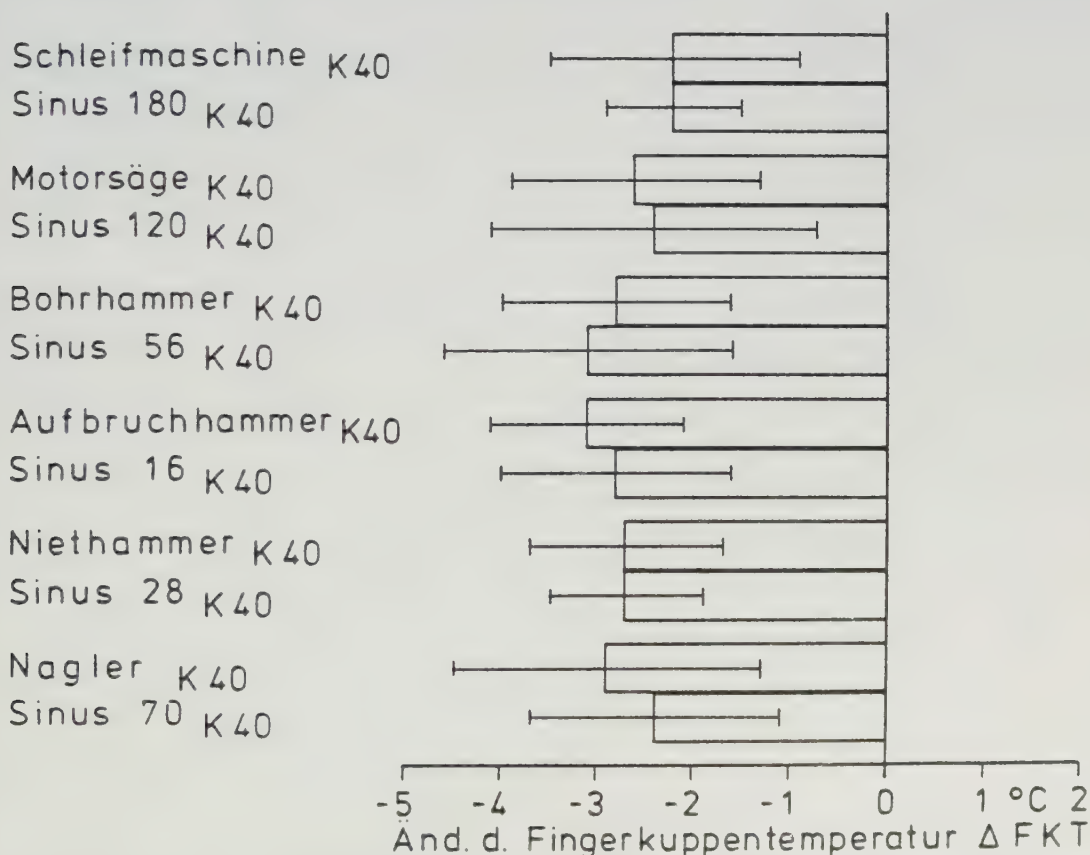


Abbildung 24: Veränderung der Fingerkuppentemperatur Δ FKT des Fingers R IV infolge einer 8-minütigen Belastung durch statische Haltearbeit und Schwingungen

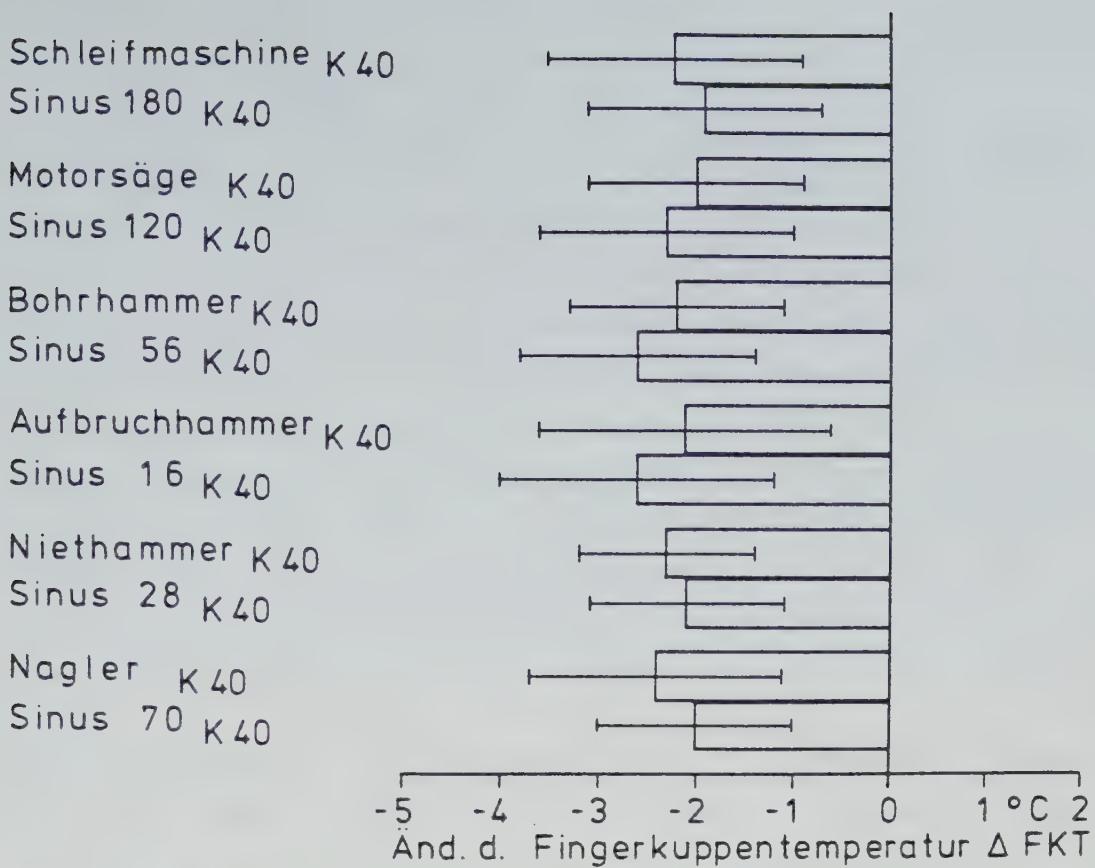


Abbildung 25: Veränderung der Fingerkuppentemperatur Δ FKT des Fingers R V infolge einer 8-minütigen Belastung durch statische Haltearbeit und Schwingungen

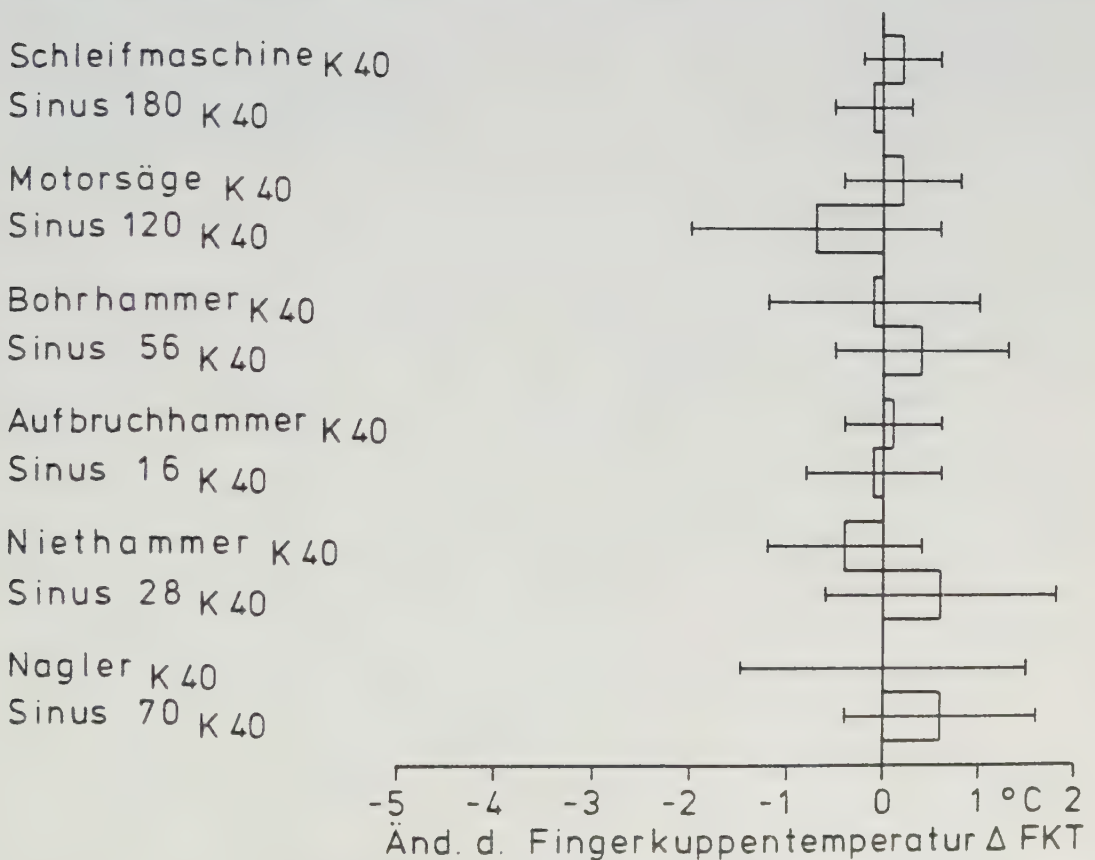


Abbildung 26: Veränderung der Fingerkuppentemperatur Δ FKT des Fingers L IV der unbelasteten linken Hand infolge einer 8-minütigen Belastung der rechten Hand durch statische Haltearbeit und Schwingungen

Aus den Abbildungen 22 bis 26 geht hervor, daß es an der schwingungsexponierten rechten Hand in allen Fällen zu einer deutlichen Minderung der Fingerkuppentemperatur und damit zu einer Reduzierung der peripheren Durchblutung kommt. Die statistische Auswertung ergab keine signifikanten Unterschiede zwischen den Maschinenschwingungen und den entsprechenden Sinus-Schwingungen ihrer jeweiligen Hauptarbeitsfrequenz. Die Ergebnisse sind wegen der besseren Vergleichsmöglichkeit in den Abbildungen paarweise dargestellt. An der nicht schwingungsexponierten linken Hand war, wie aus der Abbildung 26 zu entnehmen ist, keine signifikante Temperaturänderung feststellbar.

Deutlich sichtbar ist der Unterschied zwischen dem Finger L IV der unbelasteten linken Hand und den Fingern der belasteten rechten Hand. Für die rechte Hand ist erkennbar, daß beim Finger R II der geringste beim Finger R IV der größte Temperaturabfall auftritt. Dies geht auch aus der dazugehörigen Signifikanzmatrix (Tabelle 4) hervor. Die

Tabelle 4: Signifikanzmatrix für die Temperaturveränderungen der untersuchten Finger während der Belastungsperiode durch statische Haltearbeit und Schwingungen

	R II	R III	R IV	R V
L IV	++	++	++	++
R II		++	++	++
R III			++	0
R IV				--

++ (- -) : Irrtumswahrscheinlichkeit $\alpha \leq 1\%$
 0 : nicht gesichert

Lies z.B.: Der Finger L IV ist signifikant wärmer (++)
 als R II
 oder
 Der Finger R IV ist signifikant kälter (--)
 als R V

Veränderungen der Fingerkuppentemperatur aller Finger mit Ausnahme von R III und R V unterscheiden sich hochsignifikant.

Aus der Abbildung 27 sind die Ergebnisse der Fingerpulsamplitudenmessung an der nicht schwingungsbelasteten linken Hand zu entnehmen. Bei den dargestellten Kurven handelt es sich um arithmetische Mittelwertkurven aus 10 Versuchen (10 Versuchspersonen) für die Belastungsperiode von der 8. bis zur 15. Minute.

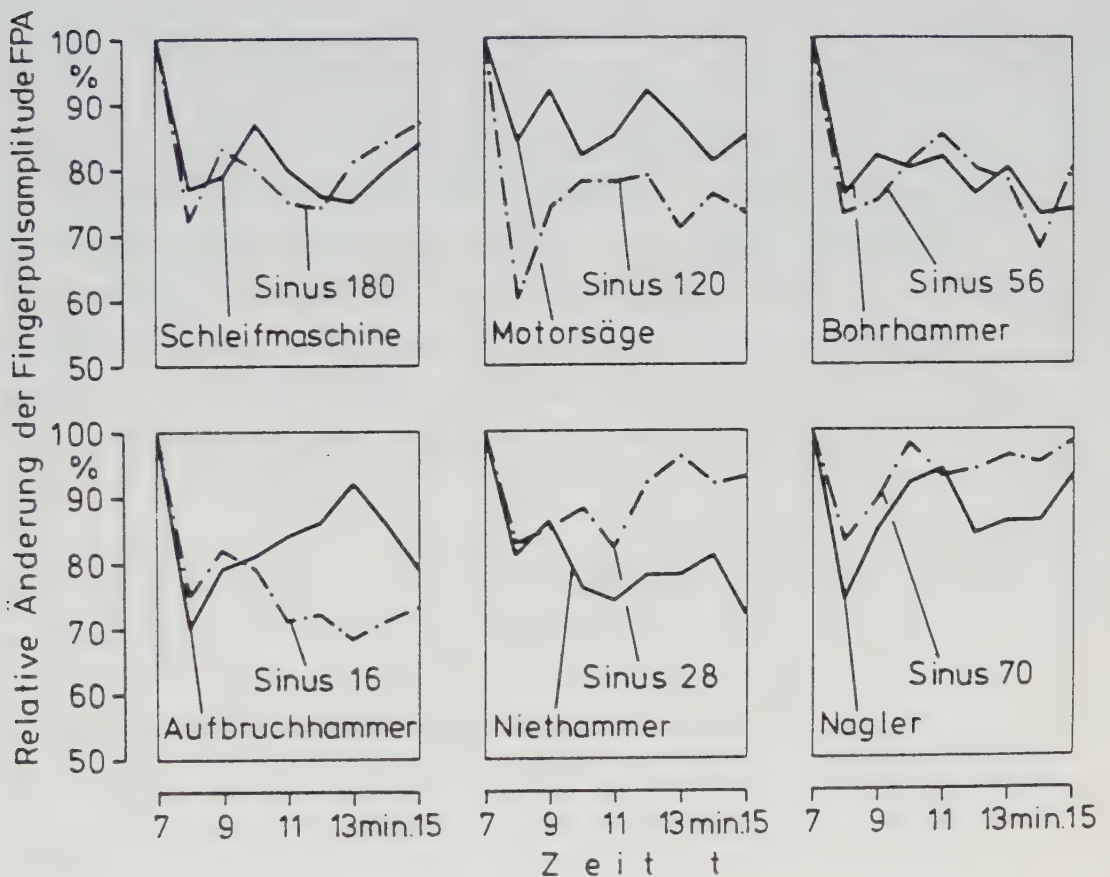


Abbildung 27: Relative Änderung der Fingerpulsamplitude FPA des Fingers L IV der unbelasteten linken Hand infolge einer 8-minütigen Belastung der rechten Hand durch statische Haltearbeit und Schwingungen

Es sind wiederum die Ergebnisse unter dem Einfluß der verschiedenen Geräteschwingungen denen bei den entsprechenden Sinusschwingungen gegenübergestellt. Bei allen Versuchsvariationen ist bereits in der ersten Belastungsminute ein deutlicher initialer Abfall der Fingerpulsamplitude feststellbar. Danach zeigt sich im allgemeinen ein gleichbleibender oder leicht ansteigender Kurvenverlauf bis zur 15. Minute. Unterschiede zwischen Geräteschwingungen und Sinusschwingungen konnten statistisch nicht belegt werden.

4.5.3. Versuchsreihe II

Die Änderungen der Fingerkuppentemperatur Δ FKT des Fingers R IV unter der Belastung mit unterschiedlich stoßhaltigen Geräteschwingungen - ausgedrückt durch den Scheitelfaktor SF der unbewerteten Beschleunigung - werden in der Abbildung 28 beispielhaft gegenübergestellt. Die Ergebnisse sind der Abbildung 24 entnommen und aus Gründen der besseren Übersicht hier zusammengefaßt dargestellt.

Mit zunehmendem Scheitelfaktor SF ist zunächst eine geringfügige Zunahme des Temperaturabfalles zu beobachten. Die deutlichste Temperaturminderung ist unter der Belastungsvariante Aufbruchhammer (SF 5,5) zu erkennen. Unter der Belastung von Geräteschwingungen mit den stärksten stoßhaltigen Anteilen (Niethammer und Nagler) zeigten sich vergleichsweise etwas geringere Temperaturabfälle.

Die statistische Auswertung der verschiedenen Schwingungsversuche ergab bezüglich der Fingerkuppentemperatur FKT jedoch keine signifikanten Unterschiede. Die Berechnung

des Regressionskoeffizienten ließ weiterhin keine Korrelation zwischen der Stoßhaltigkeit der Geräteschwingung und der Minderung der Fingerkuppentemperatur erkennen. Ein Einfluß unterschiedlich stoßhaltiger Schwingungsbelastung bei gleicher bewerteter Schwingstärke $K = 40$ auf die periphere Durchblutung konnte somit nicht nachgewiesen werden.

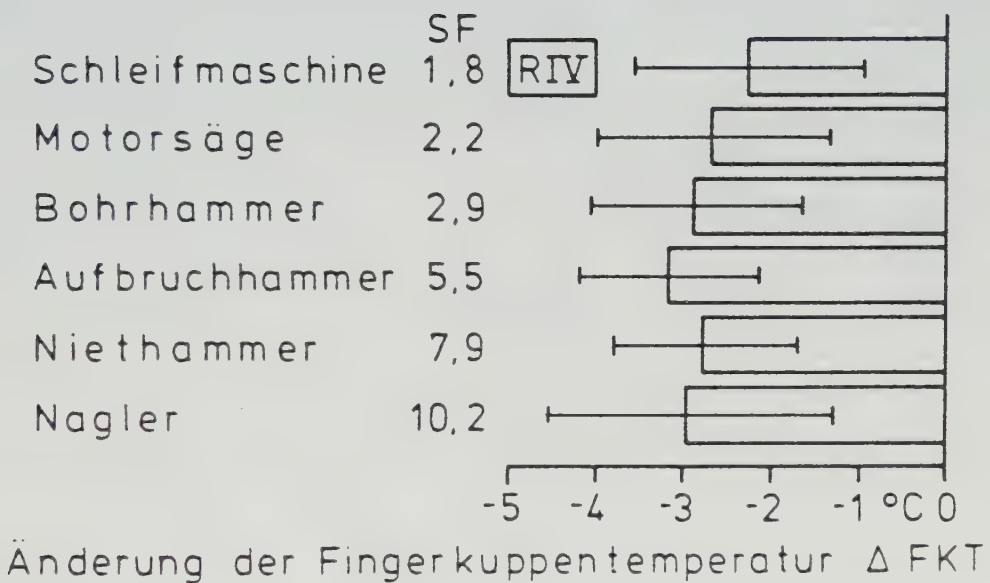


Abbildung 28: Veränderung der Fingerkuppentemperatur Δ FKT des Fingers R IV in Abhängigkeit von der Stoßhaltigkeit der Geräteschwingungen

Da die Schwingungsvarianten offensichtlich keine unterschiedlichen Wirkungen auf die Veränderung der Finger-

kuppentemperatur haben, konnten die Ergebnisse für jeden Finger durch arithmetische Mittelwertbildung zusammengefaßt werden. Abbildung 29 zeigt hierzu die Veränderung der Fingerkuppentemperatur bei kombinierter Belastung durch statische Haltearbeit und Schwingungen sowie bei alleiniger statischer Haltearbeit.

Der Unterschied zwischen dem Finger L IV der linken unbelasteten Hand und den Fingern der belasteten rechten Hand ist deutlich sichtbar. Für die rechte Hand ist erkennbar, daß beim Finger R II der geringste, beim Finger R IV der größte Temperaturabfall auftritt. Der Vergleich der Temperaturänderungen unter statischer Haltearbeit und Schwingungsbelastung gegenüber alleiniger Haltearbeit und Schwingungsbelastung gegenüber alleiniger

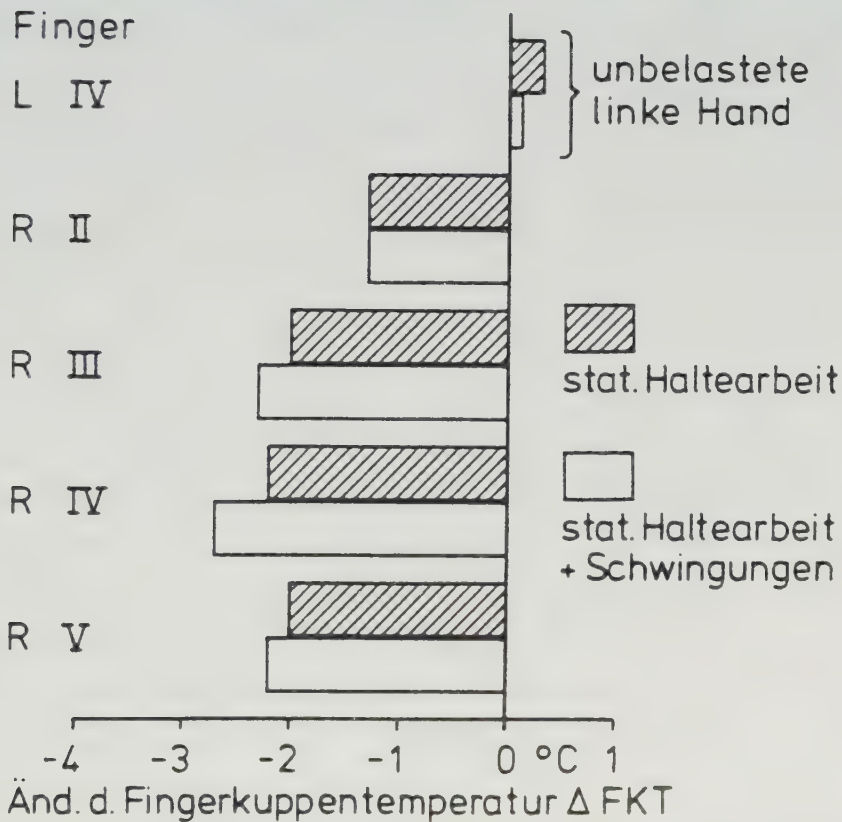


Abbildung 29: Veränderung der Fingerkuppentemperatur Δ FKT infolge einer 8-minütigen Belastung durch statische Haltearbeit (25N/50N) und Schwingungen

statischer Belastung zeigt Unterschiede, die nicht signifikant sind, obgleich die Mittelwerte des Temperaturabfalles unter kombinierter Belastung jeweils am höchsten sind.

4.5.4. Versuchsreihe III

Die Ergebnisse dieser Versuchsreihe zeigten bei der kombinierten Belastung durch statische Haltearbeit + Geräteschwingungen + Lärm eine deutliche Minderung der Fingerkuppentemperatur. Die statistische Überprüfung ergab auch hier, wie bereits im Abschnitt 4.5.3., keine signifikanten Unterschiede zwischen den Variationen der verschiedenen Schwingungsbelastungen. Daher konnten wiederum für jeden Finger die Versuchsergebnisse durch arithmetische Mittelwertbildung zusammengefaßt werden.

Abbildung 30 zeigt die Ergebnisse der Veränderungen der Fingerkuppentemperatur im Laufe der Belastungsphase. Die Kombination folgender Belastungsfaktoren wird vergleichend dargestellt:

statische Haltearbeit + Lärm

statische Haltearbeit + Schwingungen

statische Haltearbeit + Schwingungen + Lärm

Aus der Abbildung ist ersichtlich, daß die Belastungskombinationen statische Haltearbeit + Lärm und statische Haltearbeit + Schwingungen in den Mittelwerten eine etwa gleich große Abnahme der Fingerkuppentemperatur an der rechten Hand zur Folge haben. Dagegen ergab sich bei der kombinierten Belastung statische Haltearbeit + Schwingungen + Lärm in der Regel die absolut stärkste Temperaturabnahme. Hierbei ist jedoch die zusätzliche Wirkung des Lärms nicht statistisch abzusichern. Während die Temperaturminderung an den Fingern R III, R IV und R V etwa gleich groß ist, wird der Finger R II weniger betroffen, wie dieses schon

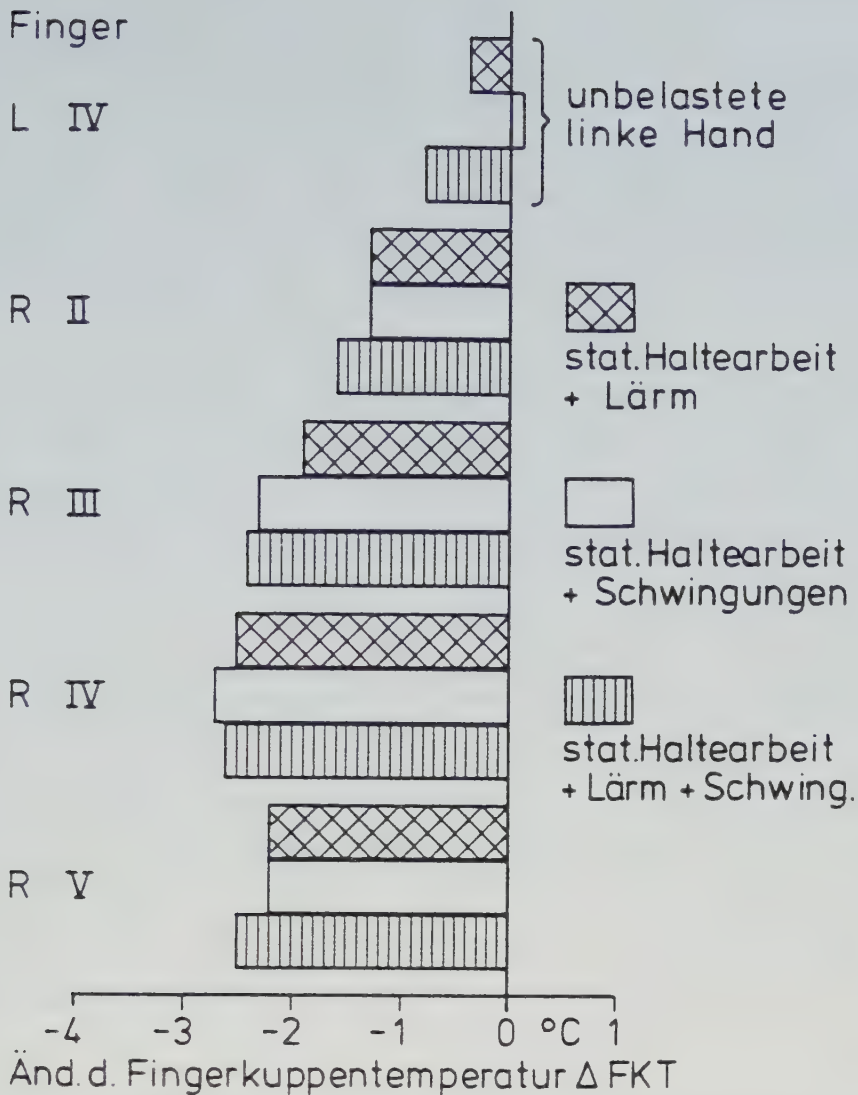


Abbildung 30: Veränderung der Fingerkuppentemperatur ΔFKT infolge einer 8-minütigen Belastungsperiode durch statische Haltearbeit, Schwingungen und Lärm

in der Versuchsreihe II zum Ausdruck kam. An der linken, durch Schwingungen unbelasteten Hand, wird jedoch der Einfluß des Lärms durch eine deutliche Minderung der Fingerkuppentemperatur erkennbar.

Der Verlauf der Fingerpulsamplitude FPA an der nicht schwingungsbelasteten linken Hand läßt im Vergleich der Kombination statische Haltearbeit + Geräteschwingungen mit der Kombination statische Haltearbeit + Geräteschwingungen + Lärm einen deutlichen Einfluß des Lärmes erkennen. Dies geht aus allen Diagrammen der Abbildung 31 hervor. Es ist erkennbar, daß durch zusätzliche Lärm-

belastung initial ein stärkerer Abfall der Fingerpulsamplitude eintritt. Gegen Ende der Belastungsphase ließ sich die Mitwirkung des Lärms nur teilweise statistisch absichern. Ein Einfluß der unterschiedlich stoßhaltigen Schwingungen, die in die rechte Hand eingeleitet wurden, ist nicht ersichtlich.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß es durch die zusätzliche Lärmbelastung zu einer weiteren Reduzierung der peripheren Durchblutung kommt, die jedoch nicht von der Art der Geräteschwingung abhängig ist.

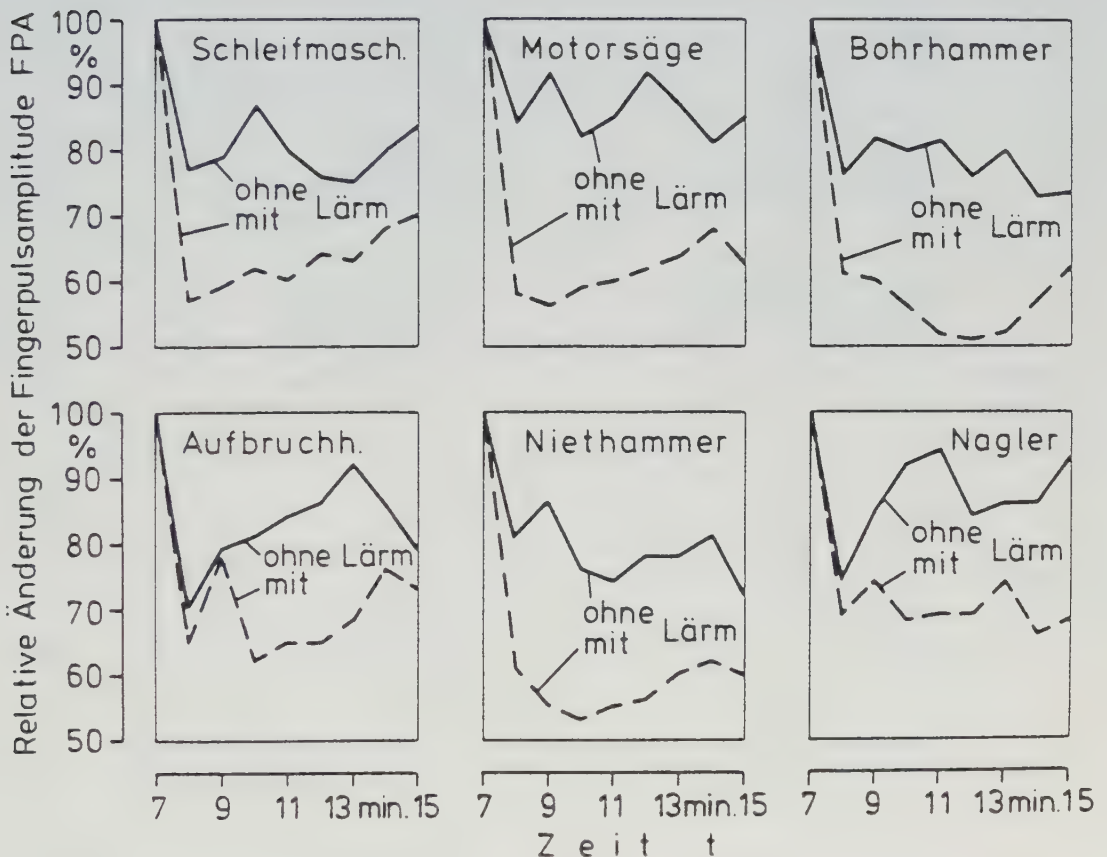


Abbildung 31: Relative Änderung der Fingerpulsamplitude FPA des Fingers L II der unbelasteten linken Hand infolge einer 8-minütigen Belastung der rechten Hand durch statische Haltearbeit, Geräteschwingungen und Lärm

Dies zeigte sich in den Mittelwerten im Temperaturabfall außer an R IV an allen Fingern. Besonders deutlich wurde der Lärmeinfluß am Rückgang der Fingerpulsamplitude an der linken Hand. Die Lärmwirkung ließ sich hier nur teilweise statistisch absichern.

4.5.5. Sonderversuchsreihe I

Die Ergebnisse der Sonderversuchsreihe zur Ermittlung des Einflusses statischer Greifkraft auf die periphere Durchblutung zeigt Abbildung 32.

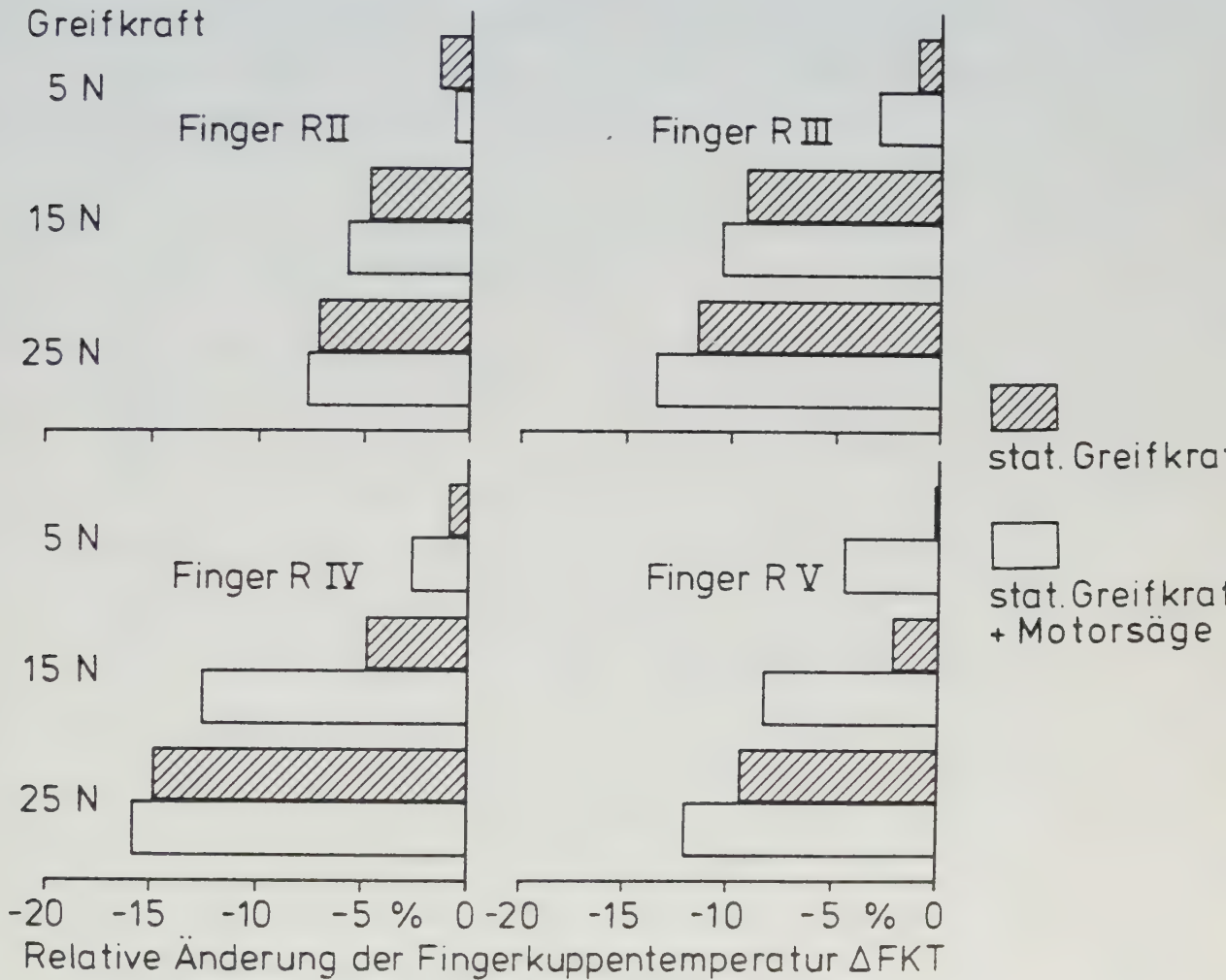


Abbildung 32: Relative Änderung der Fingerkuppentemperatur ΔFKT infolge unterschiedlicher Greifkraft mit und ohne Motorsägeschwingungen

Für die Finger R II bis R V sind die prozentualen Temperaturabnahmen bei den statischen Greifkräften von 5, 15 und 25 N mit und ohne zusätzliche Belastung durch Motorsägeschwingungen dargestellt. Aus den Ergebnissen ist ersichtlich, daß mit Zunahme der Greifkraft die Fingerkuppentemperatur deutlich abfällt. Am stärksten sind die Finger R III und R IV betroffen. Die zusätzliche Belastung durch Motorsägeschwingungen bewirkte bis auf eine Ausnahme (Finger R II, 5 N) in den Mittelwerten einen weiteren Temperaturabfall. Diese Versuchsreihe macht, wie schon Abbildung 29, deutlich, daß die Greifkraft einen wesentlichen Anteil an der peripheren Durchblutungsminde- rung der Hände hat.

4.5.6. Sonderversuchsreihe II

Die Abbildung 33 zeigt die Ergebnisse dieser Sonderversuchsreihe im Vergleich zu den Ergebnissen unter simulierten Schwingungen im Labor. Für jeden Finger sind die arithmetischen Mittelwerte der Fingerkuppentemperaturdifferenzen Δ FKT dargestellt. Es ist zu erkennen, daß der Temperaturabfall bei allen Fingern unter praxisnahen Arbeitsbedingungen größer ist als bei den Laboruntersuchungen. Die auffallend große Abweichung für Δ FKT beim Finger L IV ist darauf zurückzuführen, daß die linke Hand beim Bohren unter praxisnahen Arbeitsbedingungen ebenfalls durch statische Haltearbeit und Schwingungen belastet wurde. Dies war bei den Simulationsversuchen nicht der Fall. Der relativ hohe Temperaturabfall des Fingers R II beim Hammerbohren ist im Vergleich zu den Simulationsversuchen eine Folge der hohen statischen Belastung durch die ständige Betätigung des Geräteschalters.

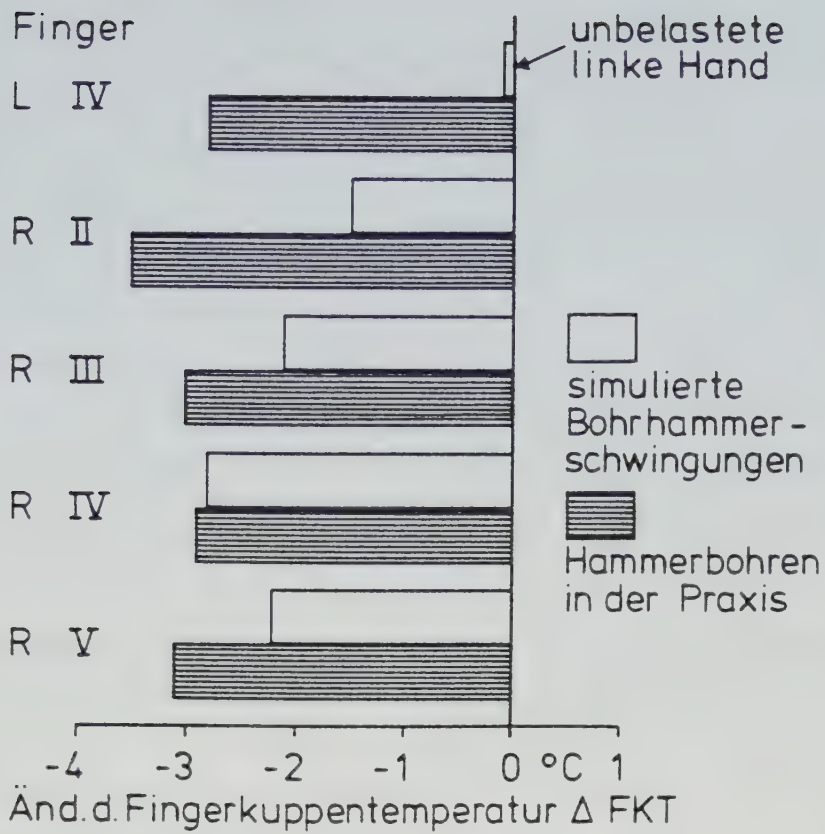


Abbildung 33: Veränderung der Fingerkuppentemperatur Δ FKT infolge einer 8-minütigen Belastung durch simulierte Bohrhammer-schwingungen und Hammerbohren in der Praxis

5. Diskussion

Die Messungen des Verlaufes von Fingerkuppentemperatur FKT und Fingerpulsamplitude FPA wurden mit dem Ziel durchgeführt, Erkenntnisse darüber zu gewinnen, ob Geräteschwingungen unterschiedlicher Stoßhaltigkeit und Frequenzzusammensetzung eine gegenüber der bisherigen Beurteilung nach VDI 2057 gleichgroße, kleinere oder größere Auswirkung auf die periphere Durchblutung haben. Da der K-Wert für alle simulierten Schwingungen konstant gehalten wurde, mußten etwaige Unterschiede im Verhalten von Fingerkuppentemperatur und Fingerpulsamplitude auf die stoßhaltigen Anteile der Schwingungen zurückgeführt werden.

WEICHENRIEDER (1977) konnte zeigen, daß gleich bewertete Sinusschwingungen unterschiedlicher Frequenz keinen signifikanten Einfluß auf die Höhe einer akuten peripheren Minderdurchblutung haben. Diese Beobachtung kann nach den durchgeführten Versuchen dahingehend erweitert werden, daß sowohl die unterschiedlich stoßhaltigen, stochastischen Schwingungen der verschiedenen Handgeräte als auch die zu vergleichenden gleichbewerteten Sinusschwingungen untereinander keine signifikanten Differenzen hinsichtlich einer Durchblutungsverringerung zeigen. Diese Aussagen gelten für die Messungen von Fingerkuppentemperatur und Fingerpulsamplitude gleichermaßen.

Besonders auffällig war der bedeutende Einfluß statischer Haltekräfte auf die Minderung der peripheren Durchblutung. Aussagen von ESS (1984) und WEICHENRIEDER (1977), daß dieser Faktor den größten Beitrag zur Durchblutungsminde- rung liefert, konnten bestätigt werden. Hier hat die Greifkraft einen hohen Stellenwert, während dem Einfluß der Andruckkraft geringe Bedeutung zukommt.

Der zunehmende Abfall der Fingerkuppentemperatur bei steigender Greifkraft läßt sich durch verstärkte lokale Kompression zuführender Gefäße erklären. Die hieraus resultierende lokale Ischämie wird in der bei vielen Versuchspersonen nach Belastungsende auftretenden kompensatorisch reaktiven Hyperämie deutlich. Die Hauttemperatur lag häufig über dem vor Belastungsbeginn gemessenen Ausgangsniveau. In den Simulationsversuchen zeigte der rechte Ringfinger die deutlichste Temperaturabnahme. Der rechte Zeigefinger war am wenigsten betroffen.

Da beim Bohren unter praxisnahen Bedingungen auch die linke Hand durch statische Haltearbeit und Schwingungen belastet wurde, kam es auch hier zu einem deutlichen Temperaturabfall. Auffällig war bei dieser Versuchsreihe weiterhin der relativ hohe Temperaturabfall des rechten Zeigefingers, der als eine Folge der statischen Belastung durch die ständige Betätigung des Geräteschalters anzusehen ist. An allen Fingern kam es beim Hammerbohren unter praktischen Arbeitsbedingungen zu einem stärkeren Temperaturabfall als im Simulationsversuch, was auf die durch das Gewicht der Maschine bedingte erhöhte statische Haltearbeit zurückgeführt werden kann.

Unter zusätzlicher Lärmbelastung kam es in der Regel zur absolut stärksten Durchblutungs-minderung. Neben der Temperaturabnahme am Ringfinger der linken unbelasteten Hand fiel insbesondere der starke Abfall der Fingerpulsamplitude des linken Zeigefingers auf. JANSEN (1971) stellte anhand von Messungen der Fingerpulsamplitude eine der Vibrationswirkung vergleichbare Wirkung von Lärm auf die periphere Durchblutung fest. Ein ähnliches Ergebnis zeigten die in den eigenen Versuchsreihen durchgeführten Hauttemperaturmessungen an der rechten Hand. Unter den Belastungskombinationen statische Haltearbeit +

Lärm und statische Haltearbeit + Schwingungen war in den Mittelwerten ein annähernd gleicher Abfall der Fingerkuppentemperatur zu erkennen. SCHROETER (1981) erklärt die lärmbedingte Durchblutungsminde rung als Anpassungsreaktion des Organismus im Sinne einer erhöhten Freisetzung von Katecholaminen. Neben dieser hormonellen Ebene ist auch mit einer nervalen Beeinflussung im Sinne einer Erhöhung des Sympathikotonus der peripheren Gefäße zu rechnen. Die zusätzliche Lärmwirkung ließ sich insbesondere gegen Ende der Belastungsphase nur teilweise statistisch absichern. Es kann deshalb damit gerechnet werden, daß unter der Belastung eine Lärmadaptation erfolgt. ESS (1984) schreibt der Lärmbelastung die größte generalisierende Wirkung sowie den statischen Kräften den stärksten lokalen Einzeleffekt zu. Er ist der Meinung, daß die größte Wirkung der Vibration in der Verstärkung des lokalen Effektes der Durchblutungs drosselung liegt.

Ein besonderer Einfluß stoßhaltiger Geräteschwingungen, wie sie in der Arbeitswelt häufig vorkommen, ließ sich in dieser Untersuchung nicht nachweisen. Da alle Geräteschwingungen auf eine gleiche bewertete Schwingstärke K eingestellt waren und sich die Wirkungen auf die periphere Durchblutung nicht signifikant unterschieden, kann festgestellt werden, daß das derzeitige Beurteilungssystem nach VDI 2057 für die untersuchten Gerätearten mit zum Teil starker Stoßhaltigkeit keiner überenergetischen Impulsbewertung im Sinne einer Bewertungssteigerung bedarf.

Diese Aussage kann sich entsprechend der angewandten Untersuchungsmethodik nur auf die untersuchten Gerätearten und auf die gewählten Beanspruchungskriterien beziehen. Eine Abschätzung, ob stoßhaltige Schwingungen eventuell nach mehrjähriger beruflicher Expositionsdauer infolge Traumatisierung peripherer Gefäße eine stärkere Auswirkung auf die Entstehung einer Erkrankung im Sinne der Nr. 2104 der

Berufskrankheitenverordnung haben, kann nicht ausgeschlossen werden, ist jedoch wenig wahrscheinlich. Epidemiologische Studien können hier weitere Erkenntnisse vermitteln.

Im Rahmen technischer Präventivmaßnahmen sollte besonders auf eine Gewichtsverringerung handgeführter Schwingungsgeräte geachtet werden, um die Folgen statischer Haltearbeit auf die periphere Durchblutung zu vermindern. Eine Verringerung der Lärmemission wäre weiterhin von großem Vorteil. Durch Verbesserung der schon heute verwendeten schwingungsmindernden Grifffsysteme könnten die vielfältigen Wirkungen von Schwingungen auf das Hand-Arm-System weiter verringert werden.

Die Hauttemperatur hat sich nach Untersuchungen von ESS (1984) als die Meßgröße mit der geringsten inter- und intraindividuellen Schwankung erwiesen. Sie läßt sich mit einem relativ geringen technischen Aufwand bestimmen. Als Maßnahmen arbeitsmedizinischer Prävention könnten deshalb Hauttemperaturmessungen oder die Infrarotthermographie in Verbindung mit Kälteprovokationstests zur Erkennung von Frühschäden oder einer individuellen Disposition zum vibrationsbedingten vasospastischen Syndrom VVS, dienen, ESS (1984). Die Infrarotthermographie stellt eine neuere Untersuchungsmethode dar. Sie ist zwar kostenaufwendiger, führt aber zu einem in diagnostischer Hinsicht wichtigen Wärmeverteilungsbild der gesamten Hand, WOELKE-SEIDL (1982).

6. Zusammenfassung

In Laborversuchen wurde der Einfluß von mehr oder weniger stoßhaltigen Schwingungsverläufen auf die Fingerkuppen-temperatur und Fingerpulsamplitude untersucht. Hierzu wurden an einem Simulator Geräteschwingungen gleicher bewerteter Schwingstärke $K = 40$, jedoch unterschiedlicher Stoßhaltigkeit vorgegeben. An den Fingern R II, R III, R IV und R V der schwingungsbelasteten rechten Hand sowie am Ringfinger L IV der linken unbelasteten Hand waren Temperaturmeßfühler befestigt, die es ermöglichten, während einer 8-minütigen Belastungsphase den Hauttemperaturverlauf zu verfolgen. Außerdem wurde während dieser Zeit die Fingerpulsamplitude des linken Zeigefingers registriert.

In den Hauptversuchen betrugen die von der Versuchsperson aufzubringenden Greif- und Andruckkräfte 25 bzw. 50 N. Bei stets gleicher Armhaltung wurden die Schwingungen vom Simulator in Z-Richtung - dies entspricht ungefähr der Unterarmrichtung - auf das Hand-Arm-System der Versuchsperson übertragen. Ein Klimagerät gewährleistete eine konstante Raumtemperatur von etwa 22°C .

Die Versuchsanordnung war entsprechend dem praxisorientierten Anliegen der Untersuchung so angelegt, daß unter praktischen Arbeitsbedingungen an verschiedenen vibrierenden Arbeitsgeräten gemessene Beschleunigungsverläufe als Belastungsgrößen gewählt wurden. Bei der Simulation waren diese lediglich hinsichtlich der Amplituden einheitlich so verändert worden, daß alle Variationen eine gleichgroße bewertete Schwingstärke $K = 40$ aufwiesen.

Ein Teil der Versuche wurde unter zusätzlicher Lärmbelastung durchgeführt. Zur Lärmsimulation diente das Geräusch einer Motorsäge beim Sägen von etwa 95 dB (A).

Aufgabe einer Sonderversuchsreihe war es, den Einfluß der statischen Haltearbeit auf die periphere Durchblutung zu untersuchen. Außerdem wurde der Verlauf der Fingerkuppentemperatur unter praxisnahen Arbeitsbedingungen mit einem Elektro-Bohrhammer gemessen.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß Schwingungsbelastung und statische Haltearbeit synergistisch eine Minderung der Fingerdurchblutung bewirken. Dabei kommt der statischen Haltearbeit eine besondere Bedeutung zu. Zunehmende Greifkraft bewirkte eine steigende Durchblutungs-minderung.

Die verschiedenen stochastischen Geräteschwingungen unterschiedlicher Stoßhaltigkeit - ausgedrückt durch den Scheitelfaktor der unbewerteten Beschleunigung - und die zu vergleichenden Sinusschwingungen der jeweiligen Arbeitsfrequenz unterschieden sich hinsichtlich ihrer Wirkung auf die periphere Fingerdurchblutung nicht signifikant. Dies zeigten sowohl die Messungen der Fingerkuppentemperatur FKT als auch die Messungen der Fingerpulsamplitude FPA. Dagegen war der Temperaturabfall bei den einzelnen Fingern unterschiedlich, in der Regel bei R II am geringsten, bei R IV am stärksten.

Beim Hammerbohren unter praktischen Arbeitsbedingungen konnten größere Temperaturabnahmen an den Fingerkuppen als unter simulierten Bohrhammerschwingungen festgestellt werden.

Zusätzliche Lärmbelastung führte zu einer weiteren Reduktion der peripheren Durchblutung. Dies zeigte sich bis auf R IV in den Temperaturverläufen aller Finger. Der Lärmeinfluß ließ sich hier statistisch nicht absichern. Die Fingerpulsamplitude FPA hingegen reagierte initial mit einem signifikanten Abfall, der teilweise bis zum Ende der Belastungsphase anhielt.

7. Literaturverzeichnis

- AGATE, J.N.: An outbreak of cases of Raynaud's phenomenon of occupational origin, Brit.J.Ind.Med. 6, 144-163 (1949)
- ASHE, W.F., W.T. COOK und J.W. OLD: Raynaud's phenomenon of occupational origin, Arch.Environ.Hlth. 5, 333-343 (1962)
- AZUMA, T., I. OHHASHI und M. SAKAGUCHI: An approach to the pathogenesis of "white finger" induced by vibratory stimulation: acute but sustained changes in vascular responsiveness of canine hindlimb to noradrenaline, Cardio-vascular Res. 14, 725-30 (1980)
- BERUFSSKRANKHEITEN-VERORDNUNG: Liste der Berufskrankheiten nach der Verordnung zur Änderung der Siebenten Berufskrankheiten-Verordnung vom 8. Dez. 1976 (BGBL.I, S. 3329)
- BEVEGARD, B.S., J.T. SHEPPHERD: Regulation of the circulation during exercise in man, Physiol.Rev. 47, 187-213 (1967)
- BMA: Merkblätter für die ärztliche Untersuchung zu der (BeKV), Bek. des BMA v. 10.7. (1979)
- BOLLINGER, A.: Funktionelle Angiologie, Thieme, Stuttgart, 49 (1979)
- BOVENZI, M., L. PETRONIO und F. DI MARINO: Epidemiological survey of shipyard workers exposed to hand-arm vibration, Int.Arch.Occup.Environ.Hlth. 46, 251-266 (1980)
- BRAMMER, A.J.: Method for predicting the development of vibration induced white finger, 10th Int.Congr.Acoust. Sydney (1980)
- BÜRKLE DE LA CAMP, H.: Stellungnahme zu den "Chirurgischen Berufskrankheiten", Hefte z. Unfallheilkunde 78, 15 (1964)
- BUSSE, R.: Kreislaufphysiologie, Thieme Stuttgart, 183-190 (1982)
- CARLSÖÖ, E. und J. MAYR: A study of the load on joints and muscles in work with a pneumatic hammer and a bolt gun, Work.Environ.Hlth. 11, 32-38 (1974)
- CLAUSS, G. und H. EBNER: Grundlagen der Statistik, Verlag Harri Deutsch Frankfurt, S. 240-244 (1975)
- COTTINGHAM, C.E.: Effects of use of air hammer on hands of Indiana Stone Cutter, Bull. U.S. Bureau of Labour Statistics, 19, 236 (1918)
- DAVIES, L., E. GLASER und C. COLLINS: Absence of Raynaud's phenomenon in workers using vibratory tools in warm, Lancet 1, 18, 1014 (1957)

- DUPUIS, H., E. HARTUNG und H. IWATA: Übertragung von Horizontalschwingungen auf das Hand-Arm-System, *Ergonomics* 16, 3, 324 (1973)
- DUPUIS, H., E. HARTUNG, M. HEINZ und A. WEICHENRIEDER: Biomechanisches Verhalten, Muskelreaktion und periphere Durchblutung des Hand-Arm-Systemes unter Schwingungsbelastung, Arbeiten aus dem MPI für Landarbeit und Landtechnik, Bad Kreuznach, A-76-2 (1976a)
- DUPUIS, H., E. HARTUNG und W. HAMMER: Biomechanisches Verhalten, Muskelreaktion und subjektive Wahrnehmung bei Schwingungserregung der oberen Extremitäten zwischen 8 und 80 Hz, *Int.Arch.Occup.Environ.Hlth* 37, 9-34 (1976b)
- DUPUIS, H. und A. WEICHENRIEDER: Beeinflussung der peripheren Hautdurchblutung durch mechanische Schwingungen und Lärm, Ber. 17. Jahrestagung d. Dtsch.Ges. f. Arbeitsmedizin e.V. Kiel, Gentner Stuttgart, 159-168 (1977)
- DUPUIS, H.: Mechanische Schwingungen und Stöße, In: Lehrbuch der Ergonomie v. H. SCHMIDTKE, Carl HANSER München, 2. Aufl., 222-235 (1981)
- DUPUIS, H.: Wirkung mechanischer Schwingungen auf das Hand-Arm-System - Literaturanalyse - BAU-Forschungsbericht Nr. 308, Dortmund (1982)
- DUPUIS, H., L. ESS und J. ZAGORSKI: Akute Veränderung der peripheren Fingerdurchblutung unter Lärm, statischer Belastung und Schwingungsbelastung, *Z.Arb.wiss.*, 243-246 (1982)
- ESS, L.: Akute Auswirkungen von Lärm-, Schwingungs- und statischer Muskelbelastung auf die periphere Fingerdurchblutung, *Med.Diss.*, Mainz (1984)
- FÄRKILÄ, M. und I. PYYKKÖ: Blood flow in the contralateral hand during vibration and hand grip contractions of lumberjacks, *Scand.J.Work Environ.Hlth*. 5, 368-374 (1979)
- FRANKE, E.K. und K.M. HILDRETH: Local vascular response to vibrations, WADC Technical Note 56-297, AD 97106, Project No. 7210, 1-9 (1956)
- GEMNE, G.: Pathophysiology and multifactorial etiology of acquired vasospastic disease (Raynaud syndrome) in vibration-exposed workers, *Scand.J. of Work, Environment & Health* 8 (1982)
- GOLENHOFEN, K.: Haut, In: BAUEREISEN, E.: Physiologie des Kreislaufs, Springer, Berlin, 347-384 (1971)

- GOLENHOFEN, K.: Physiologie der Hautdurchblutung, In: KORTING, G.: Hautkrankheiten, Dermatologie Bd 1, Springer Berlin, 2. 9-2. 22 (1981)
- GRIFFIN, M.J. und E.W. WHITHAM: Discomfort produced by impulsive wholebody vibration, Univ. of Southhampton, Institute of Sound and Vibration Research, England, J. Acaust.Soc.Am. 68 (5), Nov. (1980)
- HAGEN, J.: Schäden durch Preßluftwerkzeuge und vibrierende Maschinen, In: Handbuch der gesamten Arbeitsmedizin, Baader Berlin, 427-447 (1961)
- HAMILTON, A.: U.S. Department of Labor Bureau of Labor Statistics Bulletin, No. 236, 53 (1918)
- HAMILTON, A.: A vasomotor disturbance in the fingers of stonecutters, Arch.Gewerbepath.Gewerbehyg. 1, 348-358 (1930)
- HASHIMOTO, K. und R.S. CRAIG: Acrosclerosis associated with vibration: an electron microscopic study, J. Cutaneous, Pathology 7, 373-386 (1980)
- HELD, G.: Elektromyographische Untersuchungen an der oberen Extremität bei statischer Belastung und Schwingungsbelastung, Z.Arb.wiss. 34 (6NF) 3, 185-188 (1980)
- HELLSTRÖM, B. und K. LANGE-ANDERSEN: Vibration injuries in Norwegian forest workers, Brit.J.Ind.Med. 29, 255-263 (1972)
- HENRIKSEN, O., S.L. NIELSEN, W.P. PAASKE, P. SEJRSEN: Autoregulation of blood flow in human cutaneous tissue, Acta physiol. scand. 89, 538-543 (1973)
- HETTINGER, Th.: Die Ermüdung der Eigenreflexe bei Drucklufthammerarbeit, Arbeitsphysiol. 15, 57-61 (1953)
- HETTINGER, Th. und H. SCHEFFLER: Die Veränderung des Ellenbogengelenkspaltes bei Arbeit mit Drucklufthämmern, Int.Z.angew. Physiol. einschl. Arbeitsphysiol., Bd 17, 284-302 (1958)
- HOLLOWAY jr., G.A., C.H. DALY, D. KENNEDEY, J. CHIMOSKEY: Effects of external pressure loading on human skin blood flow measured by ¹³³Xe clearance, J. appl.Physiol. 40, 597-600 (1976)
- ILO: Änderung der Liste der Berufskrankheiten im Übereinkommen (Nr. 121) über Leistungen bei Arbeitsunfällen und Berufskrankheiten, Int. Arbeitskonferenz, 66. Tagung Genf (1980)

- ISO/DIS 5349: Guide for the measurement and the assessment of human exposure to vibration transmitted to the hand (1979)
- ISO/DIS 5349: Guide for the measurement and the assessment of human exposure to vibration transmitted to the hand, Second Draft International Standard ISO/DIS 5349 (1983)
- IWATA, H., H. DUPUIS und E. HARTUNG: Übertragung von horizontalen Sinusschwingungen auf die oberen Extremitäten bei Halbpronationsstellung und Reaktion des m. biceps, Int.Arch.Arbeitsmed. 30, 313-328 (1972)
- IWATA, H., H. DUPUIS, J.L. FREUND und E. HARTUNG: Bei Hand-Arm-Schwingungen auftretende Erkrankungen, Arbeitsmed. Sozialmed. Präventivmed. 8, 12, 295-296 (1973)
- JANCIK, G.: Durchblutungsstörungen der Hände durch Vibration bei Holz- und Metallarbeitern, Ber. 13. Kongreß für Arbeitsschutz u. Arbeitsmedizin Düsseldorf, Dtsch. Ges.f.Arbeitsschutz, 542-545 (1973)
- JANSEN, G. und W. THUTWOHL: Zur Bestimmung vegetativer Schallreaktionen, Kampf dem Lärm 1, 1-4 (1968)
- JANSEN, G.: Prämorbid Gefäßstörungen bei Stahlarbeitern, Arbeitsmed.Sozialmed.Arbeitshyg. 6, 3, 68-69 (1971)
- JANSEN, G.: Akute Wirkungen, insbesondere bei kombinierten Belastungen, In: DUPUIS, H., Wirkung mechanischer Schwingungen auf das Hand-Arm-System - Expertenkolloquium - BAU-Forschungsbericht Nr. 348, Dortmund (1983)
- JEPSON, R.P.: Raynauds phenomenon in workers with vibratory tools, Brit.J.industr.Med. 11, 180-185 (1954)
- KLIMKOVA-DEUSCHOVA, E.: Neurologische Aspekte der Vibrationskrankheit, Int.Arch.f.Gewerbepath. u. Gewerbehyg. 22, 3, 297-305 (1966)
- KLOSTERKÖTTER, W.: Änderung der peripheren Durchblutung bei Arbeiten mit Motorsägen, unveröff.Forschungsbericht, Essen (1974)
- KLOSTERKÖTTER, W.: Kriterien für vibrationsbedingte Durchblutungsstörungen bei beruflichen Tätigkeiten, Ergon. Aspekte d. Arbeitsmed. Koll. München, 191-199 (1975)
- KNIEB, H.: Vibrationsbedingte Durchblutungsstörungen der Hände bei Gußputzern, Moderne Unfallverhütung 25, 97-102 (1981)
- KORADECKA, D.: Einfluß der Arbeitsfaktoren eines typischen Vibrationsgerätes auf den peripheren Blutkreislauf, Materialy do studiow i badan, 49 (1980)

- KORADECKA, D.: Periphere Kreislaufreaktionen durch Arbeiten mit vibrierenden Werkzeugen, Nr. 32 Schriftenreihe Arbeitsschutz, BAU Dortmund, 27-58 (1982)
- KRAMER, H., H. REHFELDT und R. MUCKE: Einige arbeitsphysiologische Aspekte der Herz-Kreislaufreaktionen bei statischer Muskelarbeit, Z.ges.Hyg. 27, 1, 34-38 (1981)
- KRAUSE, P.: Untersuchungen zur Einwirkung impulsartiger Vibration auf das Hand-Arm-System bei der Arbeit mit handgeführten Maschinen, Diss. TU Dresden (1977)
- LAARMANN, A.: Berufskrankheiten nach mechanischen Einwirkungen, 2. Aufl. des Buches "Die chirurg. Berufskrankheiten", Enke Stuttgart (1977)
- LANGAUER-LEWOWICKA, H.: Immunologic studies on the pathogenesis of Raynaud's phenomenon in vibration disease, Int.Arch. Occup. Environ Hlth. 36, 209-216 (1976)
- LAROCHE, G.P.: Traumatic vasospastic disease in chain saw operators, Canada Med.Ass.J. 115, 1217-1221 (1976)
- LEHMANN, G. und J. TAMM: Die Beeinflussung vegetativer Funktionen des Menschen durch Geräusche, Westdeutscher Verlag Köln und Opladen, 257 (1956)
- LIDSTRÖM, I.M.: Periphere Kreislauf- und Nervenfunktionsstörungen bei Personen, die Vibrationswirkungen über die Hände ausgesetzt sind, Arbeitsmed. Sozialmed. Präventivmed. 11, 242-244 (1974)
- LIDSTRÖM, I.M.: Diskussionsbemerkungen auf einem Sachverständigen-Kolloquium, Dortmund (1982)
- LORIGA, G.: Il lavor coi matrelli pneumatici, Bool. inspett. lavoro 2, 35 (1911)
- MARSHALL, J., E.W. POOLE und W.A. REYNAUD: Phenomenon due to vibrating tools (neurological observations), Lancet 1, 1151 (1954)
- MATоба, T., H. KUSUMOTO, H. OMURA, T. KOTORII, H. KUWAHARA und M. TAKAMATSU: Digital plethysmographic responses to auditory stimuli in patients with vibration disease, Tohoku H., Exp.Med. 115, 385-392 (1975a)
- MATоба, T., H. KUSUMOTO und M. TAKAMATSU: A new criterion of the severity of the vibration disease, Jap. J. Ind. Hlth. 17, 211-214 (1975b)
- MATоба, T., H. KUSUMOTO, Y. MIZUKI, H. KUWAHARA, K. INANAGA und M. TAKAMATSU: Clinical features and laboratory findings of vibration disease: A review of 300 cases, Tohoku, J. Exp.Med. 123, 57-65 (1977)

- OESER, R.: Zum Einfluß lokaler Vibration auf die periphere Durchblutung, Z.ges.Hyg. und ihre Grenzgebiete 24, 2, 83-85 (1978)
- PELLEGRINI, P., G. MARTINES, C. LONGHINI, G.F. MUSACCI, G. ANTONIOLI und V. COLAMUSSI: A study of the anatomical substate of occupational microangiopathy caused by vibrating instruments, Med. Lavoro 59, 180-208 (1968)
- PYYKKÖ, I. und J. HYVÄRINEN: The physiological basis of the traumatic vasospastic disease: a sympathetic vasoconstrictor reflex triggered by high frequency vibration? Work Environ. Hlth. 10, 36-47 (1973)
- PYYKKÖ, I.: The prevalence and symptoms of traumatic vasospastic disease among lumberjacks in Finland, A field study, Work Environ. Hlth. 11, 118-131 (1974)
- PYYKKÖ, I. und J. HYVÄRINEN: Vibration induced changes of sympathetic vasomotor tone, Acta Chir. Scand. 465, 23-26 (1977)
- RAZUMOV, J.K., E.J. DENISON und R.Z. POSDNJAKOVA: Der energetische Charakter der Vibrationswirkung auf den menschlichen Organismus, Gig.Tr.Prof.Zabol. 11, 3 (1967)
- REHM, S.: Chronische Wirkungen auf das Knochen- und Gelenk-System, In: DUPUIS, H., Wirkung mechanischer Schwingungen auf das Hand-Arm-System - Expertenkolloquium - BAU-Forschungsbericht Nr. 348, Dortmund (1983)
- REISS, F.: Raynaud like phenomenon produced by a sewing machine, Dermatologica 139, 154-157 (1968)
- ROHEN, J.W.: Funktionelle Anatomie des Nervensystems, 3. Aufl., F.K. Schattauer, Stuttgart, 269-273 (1978)
- ROSSO, M. und L. DUGHERA: Die pathologische Wirkung von Schwingungen an kalten und feuchten Arbeitsplätzen, Folia med. 50, 13-23 (1967)
- ROWELL, L.B.: Human cardiovascular adjustments to exercise and thermal stress, Physiol.Rev. 54, 75-159 (1974)
- SCHÄFER, N. und H. DUPUIS: Akute Wirkungen stoßhaltiger Schwingungen auf das Hand-Arm-System, Forschungsbericht Humanisierung des Arbeitslebens (1985)
- SCHIRMER, H.: Wirkung stoßhaltiger Schwingungen auf biomechanisches Schwingungsverhalten und Muskelreaktion des Hand-Arm-Systems und Wahrnehmung, Med.Diss., Mainz (1985)

- SCHROETER, E.: Physiologische Ursachen und pathologische Auswirkungen von Vibration und Lärm auf den Organismus des Waldarbeiters, Mitt. der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württ., Freiburg, 95 (1981)
- SCHWARZLOSE, H.: Vorkommen von Hand-Arm-Vibration bei beruflichen Tätigkeiten, Z.Arb.wiss. 35, 4, 227-234 (1981)
- SEPPÄLÄINEN, M.D.: Peripheral neuropathy in forest workers, A field study, Work Environ. Hlth. 9, 106-111 (1972)
- STREETER, H.: Effects of localized vibration on the human tactile sense, Am.Ind.Hyg.Ass.J. 31, 87-91 (1970)
- TAYLOR, W.: The vibration syndrome, Acad. Press London (1974)
- TAYLOR, W., P.L. PELMEAR und J. PEARSON: Vibration induced white finger epidemiology, In: Vibration white finger in industry, ed. by W. Taylor & P.L. Pelmear, Acad. Press London 1-13 (1975)
- TAYLOR, W., J.C.G. PEARSON und G.D. KEIGHLEY: A longitudinal study of Raynaud's phenomenon in chain saw operators, In: Proc.Int.Occup. Hand-Arm-Vibr.Conf. Cincinnati, 69-76 (1977)
- TURTIAINEN, K.: Chain saw operators' opinion of chain saw vibration, Work Environ.Hlth.study rep. 11, 132-135 (1974)
- VDI 2057: Beurteilung der Einwirkung mechanischer Schwingungen auf den Menschen,
Blatt 1: Grundlagen, Gliederung, Begriffe
Entw. Febr. (1975)
Blatt 2: Schwingungseinwirkung auf den menschlichen Körper, Mai (1981)
Blatt 3: Schwingungsbeanspruchung des Menschen,
Entw. Febr. (1979)
- WEICHENRIEDER, A.: Die Belastung des Menschen durch Hand-Arm-Vibrationen und Lärm sowie deren Auswirkung auf die Hörfähigkeit und die Durchblutung der Hände, Diss. TH München (1977)
- WOELKE-SEIDL, E.: Epidemiologische Untersuchungen zum vibrationsbedingten vasospastischen Syndrom bei Motorsägefóhrrern, Med.Diss., Mainz (1982)
- ZAGORSKI, J.: The effect of local acclimatization to cold on the intensity of vasomotor reaction caused by locally applied vibration, Acta Physiol. Pol. 27, 5, 449-454 (1976)

LEBENS LAUF

10.4.1954	geboren in Worms am Rhein
1961-1965	Besuch der Volksschule Westend-Nord in Worms
1965-1971	Besuch des Gauß-Gymnasiums in Worms
1971-1973	Besuch des Alten Kurfürstlichen Gymnasiums in Bensheim
29.5.1973	Reifeprüfung am Alten Kurfürstlichen Gymnasium
1973-1975	Sanitätsdienst bei der Bundeswehr
1975-1976	Studium der Biologie an der Johannes Gutenberg-Universität Mainz
8.11.1977	Abschluß der Ausbildung zum Kranken- pflegehelfer
13.3.1979	Immatrikulation an der Johannes Gutenberg-Universität im Fach Human-Medizin
25.8.1981	Ärztliche Vorprüfung
26.8.1982	Erster Abschnitt des med. Staatsexamens
Mai 1983	Beginn des experimentellen Teils meiner Dissertation
23.8.1985	Zweiter Abschnitt des med. Staatsexamens
Dezember 1985	Beendigung und Abgabe meiner Dissertation
14.10.1985-13.9.1986	Praktisches Jahr am Stadtkrankenhaus Worms
30.10.1986	Dritter Abschnitt des med. Staatsexamens
17.12.1986	Tag der Promotion

